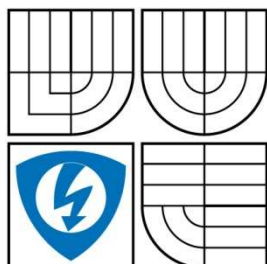


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

JADERNÁ ENERGETIKA V ČR A VE SVĚTĚ

NUCLEAR ENERGETICS IN CR AND IN THE WORLD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Peroutka

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MASTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

JADERNÁ ENERGETIKA V ČR A VE SVĚTĚ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

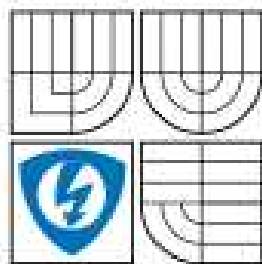
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ PEROUTKA

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Tomáš Peroutka
Ročník: 3

ID: 74890
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Jaderná energetika v ČR a ve světě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. popis vývoje v oblasti jaderné energetiky v EU
2. porovnání a posouzení možností stavby jaderných zdrojů na našem území s vývojem ve světě
3. problematika jaderné energetiky - jaderné odpady
4. návrh energetické koncepce postavené na jaderné energetice s podporou OZE

DOPORUCENÁ LITERATURA:

Podle pokynu vedoucího.

Termín zadání: 9. 2. 2009

Termín odevzdání: 1. 6. 2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Cestmír Ondrušek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Tomáš Peroutka
Bytem: Zádvořník 511, Velké Němčice, 691 63
Narozen (datum a místo): 11. 09. 1985, Praha 5 - Motol
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Jaderná energetika v ČR a ve světě

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- | | | |
|---|---|------------------------|
| <input type="checkbox"/> tištěné formě | – | počet exemplářů2 |
| <input type="checkbox"/> elektronické formě | – | počet exemplářů1 |

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

PEROUTKA, T. Jaderná energetika v ČR a ve světě. BRNO: VYSOKÉ učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií; 2008. 54 s.; Vedoucí práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Dále bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za rady a své rodině a blízkým za podporu při studiu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Jaderná energetika v ČR a ve světě

Tomáš Peroutka

vedoucí: Ing. Petr Mastný, PhD.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

Nuclear energetics in CR and in the world

By

Tomáš Peroutka

Supervisor: Ing. Petr Mastný, PhD.

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Ve své práci se budu zabývat základním principem jaderné reakce, jejího vzniku, její vývoj a současný stav, na jaké je úrovni. Dále se budu zabývat jadernými elektrárnami a jejím popisem. Jak se vybírá umístění a jiné kritéria pro stavbu je v další části. Budu se i zabývat odpadem z těchto elektráren a jejich využívání a skladování. Budoucností v odvětví jaderné energetiky je obsahem další z částí této práce. V poslední řadě budu navrhnout energetickou koncepci našeho státu.

KLÍČOVÁ SLOVA: Jaderná energetika, elektrárny, reaktory, uran, jaderný odpad, energetická koncepce.

ABSTRACT

This work is about a basic principles of nuclear reaction, creation of nuclear reaction and its development. Here is also described contemporary status and its level of progression. The first part is about a history of nuclear energy – its beginnings and further progress. Next the work deals with a nuclear power stations, nuclear reactors etc. The other part of this work is based on a nuclear waste. Then, I will write about a future of nuclear energy. The last point is creating the enegetic conception of our country.

KEY WORDS: nuclear energy, nuclear power plants, reactors, uranium, nuclear waste, enegetic conception

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	13
1 ÚVOD	14
2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	14
3 CÍLE PRÁCE	14
4 JADERNÁ ENERGETIKA.....	14
4.1 HISTORICKÝ VÝVOJ JADERNÉ ENERGETIKY	14
4.1.1 VÝVOJ JADERNÉ ENERGETIKY VE SVĚTĚ	15
4.1.2 VÝVOJ JADERNÉ ENERGETIKY V ZÁPADNÍ EVROPĚ	16
4.1.3 POČÁTKY JADERNÉ ENERGETIKY V ČR RESPEKTIVE ČSSR	19
4.2 ZÁKLADNÍ REAKCE JADERNÉHO PROCESU	20
4.3 UMÍSTĚNÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY.....	23
4.4 POPIS, JAK FUNGUJE ELEKTRÁRNA	24
4.5 JADERNÉ REAKTORY	25
4.5.1 DRUHY JADERNÝCH REAKTORŮ A JEJICH ROZDĚLENÍ	26
4.5.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ REAKTORŮ	27
5 POROVNÁNÍ A POSOUZENÍ MOŽNOSTI STAVBY JADERNÝCH ZDROJU	29
5.1 POSOUZENÍ Z HLEDISKA VYUŽITELNOSTI JADERNÝCH ELEKTRÁREN	29
5.2 POSOUZENÍ Z HLEDISKA MOŽNOSTI JINÝCH ELEKTRÁREN	29
5.3 POSOUZENÍ Z HLEDISKA UMÍSĚNÍ.....	30
6 PROBLEMATIKA JADERNÉ ENERGETIKY – JADERNÉ ODPADY.....	30
6.1 SKLADOVÁNÍ	30
6.1.1 SKLADOVÁNÍ HNED Z REAKTORU	30
6.1.2 SKLADOVÁNÍ VYHOŘELÉHO PALIVA V MEZISKLADU	30
6.1.3 SKLADOVÁNÍ V HLUBINNÉM ULOŽIŠTI	31
6.1.4 PŘEPRAVA SKLADOVÁNÍ.....	32
6.2 JINÉ VYUŽITÍ JADERNÉHO ODPADU	33
6.3 JAKÉ JSOU DO BUDOUCNA PŘEDPOKLADY PRO JADERNÝ ODPAD	34
7 BUDOUCNOST.....	35
7.1 BUDOVANÉ REAKTORY	35
7.1.1 REAKTORY S VELMI VYSOKOU TEPLOTOU.....	35
7.1.2 REAKTORY VYUŽÍVAJÍCÍ VODU V SUPERKROTICKÉ FÁZI.....	36
7.1.3 REAKTORY ZALOŽENY NA ROZTAVENÝCH SOLÍCH	37
7.1.4 RYCHLÉREAKTORY CHLAZENÉ PLYNEM.....	37
7.1.5 SODÍKEM CHLAZENÉ RYCHLÉ REAKTORY	38
7.1.6 OLOVEM CHLAZENÉ RYCHLÉ REAKTORY	39

7.2 REAKTOR PRO JADERNOU FÁZI	39
7.3 URYCHLOVAČ LHC	40
8 NÁVRH ENERGETICKÉ KONCEPCE.....	41
8.1 SOUČASNÁ STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE (SEK).....	41
8.1.1 CÍLE SOUČASNÉ SEK	41
8.1.2 PLNĚNÍ PRIORITY A INDIKATIVNÍCH CÍLŮ SEK	42
8.2 NÁVRH NOVÉ ENERGETICKÉ KONCEPCE (SEK)	43
8.2.1 JAK BY SE MOHLO POSTUPOVAT DO ROKU NÁVRHU (2040)	43
8.2.2 MOŽNÝ NÁVRH ENERGETICKÉ KONCEPCE STÁTU	49
9 ZÁVĚR.....	53
9.1 SOUČASNÝ STAV	53
9.2 SHRUTÍ NOVÝCH VĚDECKÝCH POZNATKŮ PRÁCE	53
9.3 ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOS	53
9.4 VÝZNAM A VYUŽITÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	53
9.5 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	53
POUŽITÁ LITERATURA	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 4-1 Jaderná reakce jaderných paliv</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4-2 Model řetězové reakce vyvolané rychlými neutrony.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 4-3 Model řetězové reakce vyvolané pomalými neutrony.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 6-1 Ukládání jaderného odpadu suchou metodou v plechových sudech.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6-2 Schéma reaktoru ADTT</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 7-1 Generace v jaderné energetice</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 7-2 Elektrárna Enrico Fermi v USA</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 7-3 Schéma BN-600</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7-4 Supravodivý magnet urychlovače LHC</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 8-1 Životnost tuzemských zásob černého uhlí.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 8-2 Možný vývoj těžby hnědého uhlí</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8-3 Zásobování zemním plynem na evropském kontinentu.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 8-4 Dlouhodobé scénáře spotřeby elektřiny v ČR</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 8-5 Možná struktura výroby elektrické energie v roce 2040</i>	<i>51</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 4-1 První experimentální reaktory.....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 4-2 První experimentální a demonstrační reaktory vyrábějící elektrickou energii.....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 4-3 První demonstrační jaderné elektrárny</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 4-4 Jaderné reaktory v Československu.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 4-5 Možné kombinace paliv, chladičů a moderátorů.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4-6 Jednotlivé, již v provozu reaktory, se svými palivy, chladiči a moderátory.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 8-1 Demonstrace budoucí struktury primárních zdrojů.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 8-2 Rekapitulace struktury primárních zdrojů energie a výroby elektrické energie</i>	<i>43</i>

1 ÚVOD

Jaderná energetika nám mimo jiné slouží i k výrobě elektrické energie. Je to mírové využití atomové energie, která zatěžuje oproti konvenčním zdrojům mnohem méně životní prostředí. Nad jadernými elektrárnami (JE) však stále visí jako hrozba „Damoklův meč“ v podobě strašlivých katastrof. Abychom se mohli rozhodnout, zda JE chceme či nikoli, měli bychom vědět, jak fungují. Energetická koncepce je materiál, který slouží k tomu, abychom zajistili energetickou bilanci našeho státu. Jakmile se vyrobí více elektrické energie, než je spotřeba v naší vlasti, tak se „vyváží“. Státní energetická koncepce patří k základním součástem hospodářské politiky ČR a je zde kolik energie a z jakého zdroje byla vyrobena.

2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Jaderná energetika v současnosti je ve svém rozvoji. A ohledně jaderných odpadků je vše ještě dlouhá cesta do budoucna.

Současná státní energetická koncepce (SEK) byla schválena vládou ČR dne 10. 3. 2004. Nynější SEK se skládá ze čtyř základních bodů (mající další dílčí body), které jsou cílem SEK. Tyto základní body jsou:

- 1) maximalizace energetické efektivity;
- 2) zajištění efektivní výše a struktury spotřeby prvotních energetických zdrojů;
- 3) zajištění maximální šetrnosti k životnímu prostředí;
- 4) dokončení transformace a liberalizace energetického hospodářství.

Tato koncepce byla určena na období do roku 2030.

3 CÍLE PRÁCE

Cílem mé práce je popsat vývoj v jaderné energetice. Zmapování, kde a jaké reaktory jsou a nějaké věci ohledně jaderných odpadů.

Dále je úkolem mé práce sestavit státní energetickou ukonceptci pro rok v budoucnosti s ohledněním na veškeré zásoby neobnovitelných zdrojů a s ohledem na veškeré technologie, které by do tohoto období mohli být realizovány a to i technologie jaderné. Dále zde budu uvažovat i energii z obnovitelných zdrojů energie (OZE). Jednalo by se o období kolem roku 2040.

4 JADERNÁ ENERGETIKA

4.1 Historický vývoj jaderné energetiky

Jaderná energetika je založena na celém komplexu moderní vědy, techniky a průmyslu. Některé poznatky však měly přímý význam pro objevení principiální možnosti a pro pozdější realizaci samostatně se udržující řetězové štěpné reakce.

Výchozím poznatkem byl objev přirozené radioaktivity H. Becquerelem v roce 1896, podrobněji prozkoumané M. a P. Curieovými, a poznání o ekvivalenci hmoty a energie, zformulované A. Einsteinem v roce 1905. Již tehdy se ukázalo, že za určitých podmínek může být hmota zdrojem obrovského množství energie. Při přirozeném radioaktivním rozpadu se však tato energie uvolňuje příliš pomalu.

V roce 1919 zahájil E. Rutherford období umělých přeměn prvků, a to s použitím přirozeného radioaktivního zdroje nabitých částic. Obdobné práce s uměle urychlenými nabitými částicemi provedli v roce 1932 J. Cockcroft a E. Walton. Ve stejném roce objevil G. Chadwick neutrony a E. Fermi provedl v roce 1933 umělé přeměny prvků, vyvolané ozářením těmito neutrony. V roce 1934 objevili I. a F. Joliotovi umělou radioaktivitu a v roce 1935 provedli G. Chadwick a M. Goldhaber umělé přeměny izotopů pomocí fotonů gama. Všechny tyto práce ukázaly, že i v těchto případech, kdy se přeměna vyvolá uměle vnějším zdrojem, energie se uvolňuje v příliš malých množstvích. Při použití urychlovačů je dokonce celkový energetický efekt negativní.

Rozhodujícího obratu se dosáhlo v prvních dnech v roce 1939, kdy O. Hahn a F. Strassmann experimentálně zjistil, že uran ozářený neutrony se v některých případech štěpí. L. Meitnerová, O. Frisch a hlavně E. Fermi pak v téže roce teoreticky dopracovali tento objev do důsledků, z nichž pramenilo poznání o principiální možnosti exotermické, samostatně se udržující, řízené řetězové štěpné reakce v uranu. Poprvé v historii lidstva byla tato reakce prakticky realizována E. Fermim dne 2. prosince 1942 v 15 hodin 20 minut místního času v heterogenním grafitovém reaktoru CP-1 na přírodní uran o výkonu 0,5 W, který byl umístěn v západní tribuně hřiště univerzity v Chicagu ve spojených státech.

Tabulka 4.1 První experimentální reaktory

Rok	Název	Autor	Tepelný výkon	Místo	Stát
Heterogenní grafitové reaktory na přírodní uran:					
1942	CP-1	E. Fermi	0,5 W	Chicago	Spojené státy
1943	CP-2	E. Fermi	100 kW	Argonne	Spojené státy
1946	F-1	I. V. Kurčatov	4000 kW	Moskva	Sovětský svaz
1947	Gleep	J. Cockcroft	~ 0	Harwell	V. Británie
Heterogenní těžkovodní reaktory na přírodní uran:					
1944	CP-3	W. H. Zinn	300 kW	Argonne	Spojené státy
1945	Zeep	W. B. Lewis	3,5 W	Chalk River	Kanada
1948	Zoé	F. Joliot-Curie	~ 0	Fort Chatillon	Francie
1949		A. I. Alichanov	500 kW	Moskva	Sovětský svaz

Poznámka: Kromě uvedených experimentálních reaktorů byl v roce 1944 v Los Alamos ve Spojených státech uveden do provozu homogenní lehkovodní reaktor na obohacený uran LOPO o výkonu 1 kW a v roce 1949 na stejném místě rychlý reaktor na plutonium chlazený rtutí o výkonu 25 kW.

[1]

4.1.1 Vývoj jaderné energetiky ve světě

První jaderné reaktory, kterých se použilo pro výrobu elektrické energie, byly vlastně „reaktory experimentální“, na nichž se prověřovala především schopnost dlouhodobého, bezpečného a spolehlivého provozu. Tak již v roce 1951 byl v Idaho Falls ve Spojených státech uveden do provozu experimentální rychlý reaktor (1200 kW_t, 100 kW_e), který vyráběl elektrickou energii pro vlastní spotřebu. Jaderným reaktorem první elektrárny, která byla připojena na veřejnou elektrickou síť, byl grafitový reaktor (30 MW_t, 5 MW_e) experimentální jaderné elektrárny v Obninsku v Sovětském svazu, uvedený do provozu v roce 1954. Další experimentální reaktory, vyrábějící elektrickou energii, jsou uvedeny v tabulce (2.2).

Tabulka 4.2. První experimentální a demonstrační reaktory vyrábějící elektrickou energii

Rok	Název	Druh reaktoru	Tepelný výkon	Místo, stát
1951	EBR-1	rychlý, obohacený U, chlazený Na-K	1,4 MW	Idaho Falls, Spojené státy
1954	AM-1	grafitový, obohacený U, chlazený H ₂ O tlakovou	30 MW	Obninsk, Sovětský svaz
1956	Magnox	grafitový, přírodní U, chlazený CO ₂	225 MW	Calder Hall, Velká Británie
1956	EBWR	lehkovodní, obohacený U, chlazený H ₂ O vařící	20 MW	Lemont, Spojené státy
1957	PWR	lehkovodní, obohacený U, chlazený H ₂ O tlakovou	231 MW	Shippingport, Sovětský svaz
1962	NPD	těžkovodní, přírodní U, chlazený D ₂ O tlakovou	89 MW	Rolphton, Kanada
1962	AGR	grafitový, obohacený U, chlazený CO ₂	100 MW	Windscale, Velká Británie
1966	EL-4	těžkovodní, obohacený U, chlazený CO ₂	242 MW	Brennilis, Francie
1966	HTGR	grafitový, obohacený U, chlazený He	115 MW	Peach Bottom, Velká Británie
1968	BOR-60	rychlý, obohacený U a Pu, chlazený Na	60 MW	Melekess, Sovětský svaz

Poznámka: Uvedeny jsou pouze ty experimentální nebo demonstrační reaktory, které vyráběly elektrickou energii a jejichž typ byl opakován. Nejsou uvedeny produkční a trakční reaktory

První jaderné elektrárny byly vesměs demonstrační, neschopné vyrábět elektrickou energii ekonomicky. Většinou se používalo zkušeností získaných v dřívějším období pro vojenské účely, a to na grafitových reaktorech pro výrobu plutonia a na lehkovodních reaktorech pro pohon ponorek. První jadernou elektrárnou tohoto typu byl Calder Hall ve Velké Británii s grafitovým reaktorem (225 MW_t, 41 MW_e), uvedený do provozu v roce 1956. Další demonstrační jaderné

elektrárny jsou uvedeny v tabulce (2.3). V roce 1963 poprvé zvítězila jaderná elektrárna ve volné ekonomické soutěži s elektrárnami konvenčními. Byla to elektrárna Oyster Creek ve Spojených státech s lehkovodním reaktorem (1600 MW_t, 515 MW_e), jejíž provoz byl zahájen 1969.

Tabulka 4.3. První demonstrační jaderné elektrárny

Rok	Název	Elektrický výkon netto	Druh reaktoru	Místo, stát
1954	Obninsk	5 MW	PWGR	Obninsk, Sovětský svaz
1956	Calder Hall-1	41 MW	GCR	Calder Hall, Velká Británie
1957	Shippingport-1	60 MW	PWR	Shippingport, Spojené státy
1959	Dresden-1	200 MW	BWR	Morris, Spojené státy
1963	Enrico Fermi	61 MW	LMFBR	Detroit, Spojené státy
1964	Bělojarsk-1	100 MW	BWGR	Bělojarsk, Sovětský svaz
1966	Douglas Point	208 MW	PHWR	Tiverton, Kanada
1966	Monts d'Arrée	70 MW	HWGCR	Brennilis, Francie
1973	Ševčenko	150 MW	LMFBR	Ševčenko, Sovětský svaz
1974	Fort St. Vrain	330 MW ¹⁾	HTGR	Platteville, Spojené státy
1976	Hinkley Point-B	600 MW	AGR	Hinkley Point, Velká Británie

Poznámky: Uvedeny jsou pouze ty demonstrační reaktory, jejichž typ byl opakován.

Druh reaktoru bude vysvětlen později.

¹⁾ Tepelný výkon je 1000 MW, zbytek tepelného výkonu se použije na odsolování mořské vody,

Na rozvoj jaderné energetiky od samého počátku působily silně dva faktory: ochota států, vlastnicích jaderné zbraně, uvolnit potřebné informace a jaderná paliva pro mírové využití, a snaha těchto států znemožnit zneužití jaderné energetiky pro vojenské účely ve státech dosud nevlastnících jaderné zbraně. V prvním směru měly značný význam mezinárodní konference o mírovém využití jaderné energie, pořádané Organizací spojených národů (se zkratkou OSN) v Ženevě v letech 1955, 1958, 1964 a 1971 a Mezinárodní agentura pro atomovou energii (se zkratkou MAAE a anglicky zní **I**nternational **A**tomic **E**nergy **A**gency neboli IAEA) v Salzburku v roce 1977, jakož i sama MAAE se sídlem ve Vídni, založena OSN v roce 1956. Snahy v druhém směru vyvrcholily v roce 1968 podepsáním mezinárodní dohody o nešíření jaderných zbraní mezi Velkou Británií, Spojenými státy a Sovětským svazem, k níž se připojila většina členských států OSN.

[1]

4.1.2 Vývoj jaderné energetiky v západní Evropě

80. léta znamenala pro západní Evropu růst nedůvěry k jaderné energetice, která nakonec díky černobylské havárii přerostla v rozsáhlý odpor - problémy jsou zde tedy spíše politického než technického nebo ekonomického rázu. V rozsáhlém rozvoji jaderného průmyslu v devadesátých letech nepokračovala žádná západoevropská země. Dokonce ani francouzská vláda nepotvrdila během toho času následujících pěti let žádnou novou objednávku na výstavbu jaderného reaktoru.

Evropské státy lze podle jejich postoje k jaderné energetice rozdělit do několika skupin (ty byly vytvořeny koncem 20. století a proto jsem k nim dodal i to, jak jsou na tom nyní) :

- Státy, které s rozvojem jaderné energetiky nikdy nezačaly:

Dánsko, Irsko, Lucembursko, Norsko a Řecko.

Nyní: - všechny tyto státy jsou stále bez jaderných elektráren

- Státy, které se rozhodly zastavit rozvoj jaderných programů a ukončit využívání jaderné energie:

Itálie (žádná JE):

V listopadu 1987 proběhlo referendum, které zrušilo platnost pěti zákonů chránících jaderný průmysl. Po referendu byly čtyři pracující elektrárny odstaveny, dvě nedokončené přebudovány na fosilní paliva a vstoupilo v platnost moratorium na stavbu nových reaktorů. V červnu 1990 italský parlament přijal opatření k likvidaci tří existujících reaktorů, které byly od havárie v Černobylu mimo provoz.

Nyní: - nemá žádnou jadernou elektrárnu.

Slovinsko (1 JE = 5 %):

Po protestech veřejnosti byly zrušeny plány na osm nových jaderných elektráren. V roce 1987 vláda vyhlásila moratorium na stavbu reaktorů do roku 2000. Kvůli závadám v parogenerátorech se v roce 1996 uvažovalo o odstavení JE Krško, kterou stavěla firma Westinghouse. Nezbytnými opravami by se provoz velice prodražil.

Nyní: - je Slovinsko ve stádiu, kdy má předpokládaný reaktor s výkonem 1000 MWe.

Polsko (žádná JE):

V dubnu 1989 byly zastaveny přípravné práce na výstavbě jaderné elektrárny Warta. V září 1990 zastavila vláda z finančních a bezpečnostních důvodů výstavbu jediné jaderné elektrárny Żarnowiec a vyhlásila moratorium na výstavbu dalších do roku 2000.

Nyní: - nemá žádnou jadernou elektrárnu

Rakousko (žádná JE):

Stavbu jediné jaderné elektrárny Zwentendorf sice dokončilo už roku 1978, ale nikdy ji nespustilo. V roce 1986 vláda s konečnou platností rozhodla o tom, že tato elektrárna nikdy nebude zprovozněna.

Nyní: - nemá žádnou jadernou elektrárnu

Švédsko (4 JE = 45 %):

V referendu v roce 1980 zvítězil požadavek odstoupit od jaderné energetiky. Parlament rozhodl odstavit všechny reaktory do roku 2010.

Nyní: - má 10 reaktorů s celkovým výkonem 9016 MWe.

- Země, které jaderné elektrárny provozují, vyhlásily však moratorium na výstavbu dalších:

Belgie (2 JE = 60 %): Po mnohaletém sporu odložila roku 1988 belgická vláda další rozvoj jaderné energetiky na neurčito. Tento krok byl potvrzen moratoriem nové vlády, vydaném v únoru 1992. V roce 1989 zamítla výstavbu již objednaného reaktoru i přes to, že musela Francii zaplatit odškodné 55 mil. USD.

Nyní: - má 7 reaktorů v celkovém výkonu 5728 MWe.

Finsko (2 JE = 15 %): Po havárii v Černobylu přijala vláda rozhodnutí nebudovat další jaderné elektrárny. Parlament v září 1993 opakovaně zamítl návrh vlády na vybudování pátého jaderného reaktoru.

Nyní: - 4 reaktory v provozu o celkovém výkonu 2696 MWe, 1 reaktor ve výstavbě s výkonem 1600 MWe a jeden reaktor předpokládaný o výkonu 1000 MWe.

Nizozemí (2 JE = 5 %): Kvůli nejistému vlivu jaderných elektráren na životní prostředí zmrazila vláda v roce 1986 další rozvoj jaderného programu do roku 2000. Vládní koalice z roku 1989 se postavila proti výstavbě nových reaktorů v blízké budoucnosti. V listopadu 1994 zamítl holandský parlament návrh jaderného průmyslu na prodloužení povolení k provozu jediného reaktoru do roku 2007.

Nyní: - má jeden funkční reaktor o výkonu 485 MWe.

- Zbývající země bývalého východního bloku:

Bulharsko (1 JE = 35 %): V roce 1990 byla zastavena výstavba druhé jaderné elektrárny Belene. Jediná elektrárna Kozloduj je zastaralá a její další provoz vzbuzuje obavy bulharských obyvatel i vlád ostatních zemí. Komise MAAE v červnu 1991 doporučila odstavit 4 starší bloky elektrárny.

Nyní: - má 2 funkční reaktory o výkonu 1906 MWe a 2 reaktory plánované o výkonu 1900 MWe.

Maďarsko (1 JE = 50 %): Využívá elektřinu z jediné jaderné elektrárny a žádné další neplánuje.

Nyní: - čtyři funkční reaktory o celkovém výkonu 1826 MWe a dále má dva reaktory předpokládané o výkonu 2000 MWe.

Rumunsko (1 JE): První reaktor JE Černa Voda byl spuštěn na počátku roku 1996. Tato elektrárna by měla mít podle původního plánu pět reaktorů. Projekt má již osmileté zpoždění a Rumunsko nemá finanční prostředky na jeho dokončení. První reaktor mohl být dokončen jedině díky půjčce 315 milionů dolarů od kanadské vlády. Podle zpráv MAAE celá stavba trpí nekvalitní prací a překračováním rozpočtu.

Nyní: - má dva funkční reaktory s výkonem 1310 MWe, dva reaktory plánované s výkonem 1310 MWe a jeden reaktor předpokládaný s výkonem 655 MWe.

- Zbývajících států s rozvinutou jadernou energetikou:

Francie (20 JE = 78 %): Je v Evropě skutečnou výjimkou, v jaderných elektrárnách vyrábí 78 % elektřiny. Do roku 2000 plánuje zvýšit počet reaktorů o devět. Již dnes se však projevuje problém nadbytečné kapacity. I podle vládních studií má Francie již dnes o 7 elektráren víc, než potřebuje. Zadlužení jaderného průmyslu dosáhlo na počátku roku 1992 částky 38 mld. USD.

Nyní: - má 59 funkčních reaktorů s celkovým výkonem 63473 MWe. Dále pak mají jeden reaktor ve výstavbě s výkonem 1630 MWe a jeden předpokládaný s výkonem 1600 MWe.

Německo (16 JE = 33 %): Na území bývalé SRN nebyla zahájena nová stavba od poloviny 70. let. V prosinci 1990 byla odstavena poslední jaderná elektrárna na území bývalé NDR. Německo má dnes 19 reaktorů a tento počet nebyl do roku 2000 zvýšen.

Nyní: - má 17 funkčních reaktorů s celkovým výkonem 20339 MWe.

4.1.3 Počátky jaderné energetiky v ČR respektive ČSSR

Díky bohatým nalezištím uranových rud v Jáchymově se dostaly historické české země záhy do kontaktu se světovým děním v toho oboru. Jako příklad lze i užít, že rádiu, které M. a P. Curieovi izolovali v roce 1898, pocházelo z jáchymovského smolice. V roce 1919 byl v Jáchymově založen Radiologický ústav, který je znám pod názvem Státní ústav pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů se sídlem v Praze.

Po skončení druhé světové války již v roce 1946 založila Česká akademie věd a umění výbor pro atomovou fyziku a v roce 1952 otevřela v Praze v Hostivaři laboratoře atomové fyziky. Širší a celostátně organizované úsilí v tomto oboru začalo však teprve po uvedení do provozu první jaderné elektrárny v Sovětském svazu v roce 1954. V roce 1955 byl založen Ústav jaderného výzkumu v Řeži, který za pomoci Sovětského svazu dostal v roce 1956 své základní vybavení. V roce 1955 byla na Karlově univerzitě v Praze založena samostatná fakulta technické a jaderné fyziky, v roce 1963 specializace pro stavbu jaderných zařízení na Vysoké škole strojní a elektrotechnické v Plzni. V roce 1957 byl v Závodech V. I. Lenina v Plzni zřízen dodavatelský odbor jaderných elektráren.

V oblasti státní administrativy byl v roce 1955 ustaven vládní výbor pro výzkum a využití atomové energie, jehož působnost převzalo ministerstvo paliv a energetiky a později státní výbor pro technický rozvoj. Při něm byla v roce 1962 ustavena Československá komise pro atomovou energii, která v roce 1971 získala charakter samostatného federálního orgánu státní správy.

Zásadní význam mělo uzavření dohody se Sovětským svazem v roce 1956 o pomoci při výstavbě první jaderné elektrárny v Československu o výkonu 150 MW_e brutto s jedním těžkovodním reaktorem KS-150 na přírodní uran, chlazený kyslíčnickem uhličitým. V roce 1970 byla podepsána se Sovětským svazem další dohoda o pomoci při výstavbě dvou jaderných elektráren o celkovém výkonu 1700 MW_e brutto se čtyřmi lehkovodními reaktory VVER-440 na obohacený uran, chlazený tlakovou vodou. Další reaktory jsou uvedeny v tabulce (2.4). Konečně v roce 1974 byla podepsána se Sovětským svazem dohoda o kooperaci československého průmyslu při výrobě zařízení primárního okruhu pro jaderné elektrárny s lehkovodními reaktory VVER-440, a to včetně reaktorů samých (bez palivové náplně).

Tabulka 4.4. Jaderné reaktory v Československu

Rok	Označení	Typ	Tepelný výkon	Vlastník, místo
1956	VVRS	experimentální lehkovodní	4 MW	Ústav jaderného výzkumu, Řež
1970	ŠR-0	školní lehkovodní	100 MW	Škoda, o. p., Plzeň
1972	TR-0	experimentální těžkovodní	0	Ústav jaderného výzkumu, Řež
1972	KS-150	demonstrační energetický těžkovodní	560 MW	Atomová elektrárna, n. p., Jaslovské Bohunice
1978	VVER-440	energetický tlakovodní	1375 MW	Slovenské energetické podniky-odštěpný závod V1, Jaslovské Bohunice
1980	VVER-440	energetický tlakovodní	1375 MW	Slovenské energetické podniky-odštěpný závod V1, Jaslovské Bohunice

Tehdejší Československo bylo členem MAAE, členem Komise pro mírové využití atomové energie¹⁾, Rady vzájemné hospodářské pomoci, bylo signatářem mezinárodní dohody o nešíření jaderných zbraní a členem tzv. Klub vývozců jaderné techniky.

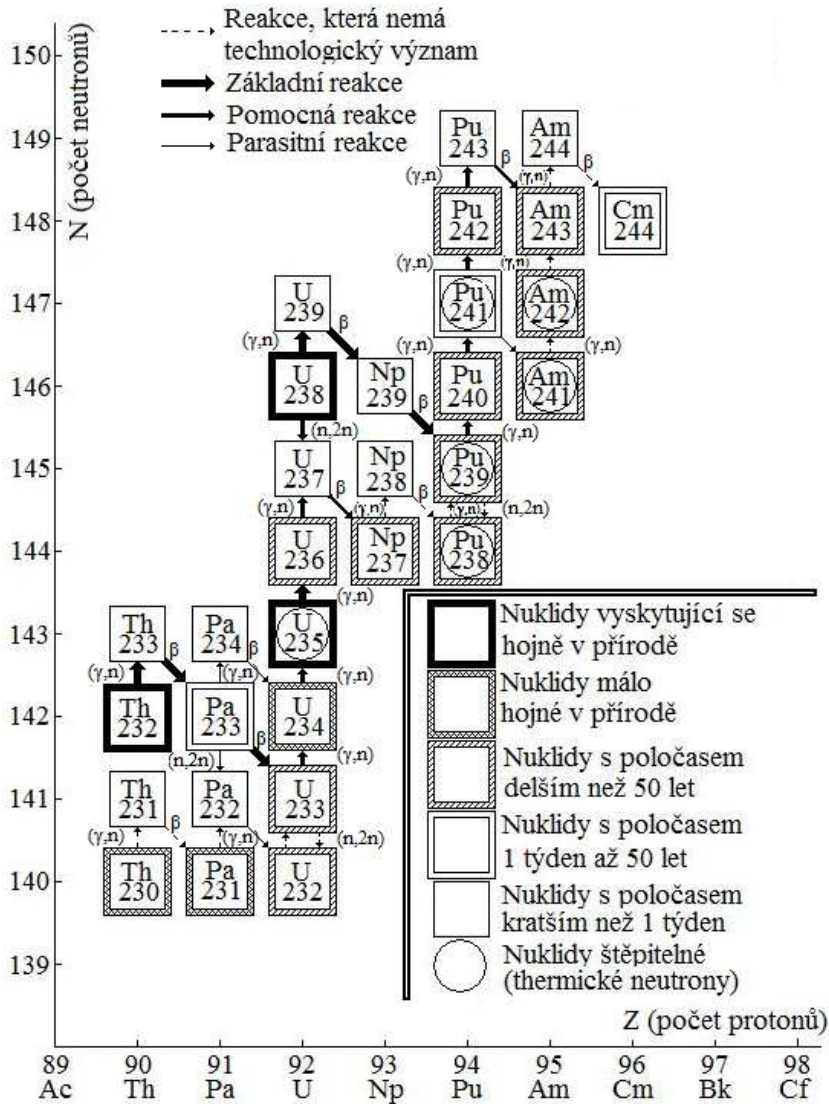
4.2 Základní reakce jaderného procesu

Od roku 1939 je známo, že vnějším působením, representovaným vniknutím jaderné částice – neutronu (částice se střední dobou života (917 ± 14) s a klidovou hmotností $1,674 \cdot 10^{-27}$ g nazvaná též nukleonem označovaným: n) do jádra atomu těžkého prvku se toto s velkou pravděpodobností štěpí za emise neutronů na dva, vzácněji na více fragmentů energie, převážně to části energie vazebné, která se při štěpení uvolnila a činí asi 200 MeV na každé rozštěpené jádro. K tomu se ze všech, v přírodě se vyskytujících prvků, nejlépe hodí uran nebo thorium. V případě uranu je nuklid U235, jehož je v přírodním uranu 0,712% celkové hmotnosti. Zbytek, tj 99,282% tvoří U238 a 0,006% U234. Přírodní thorium je tvořeno prakticky jen Th 232.

Isotopy U 238 respektive Th 232 je třeba k procesu štěpení tepelnými neutrony nejprve připravit a to umělou transmutací na Pu 239 respektive U 233. Tyto umělé isotopy jsou spolu s U

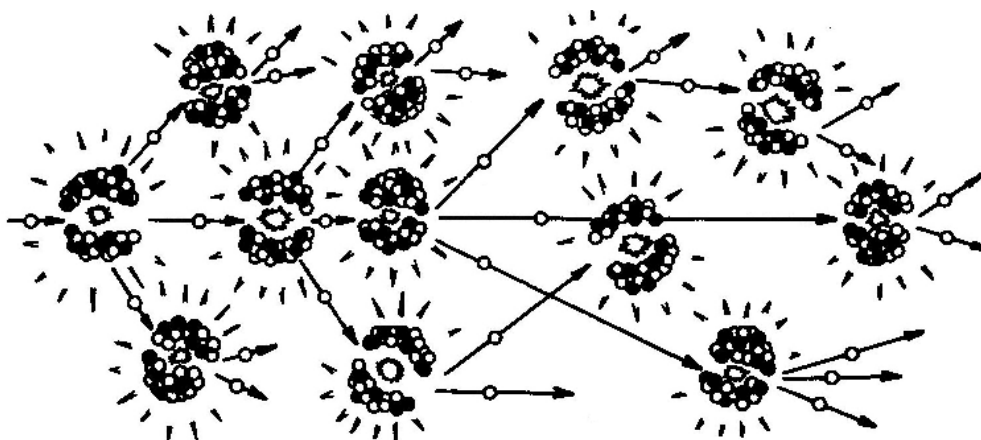
^{232}U a ^{241}Pu produkty tzv. palivového cyklu o jehož základních jaderných reakcích probíhajících povětšinou v jaderných reaktorech dává představu obr. (2.1).

Obrázek 4.1. Jaderná reakce jaderných paliv

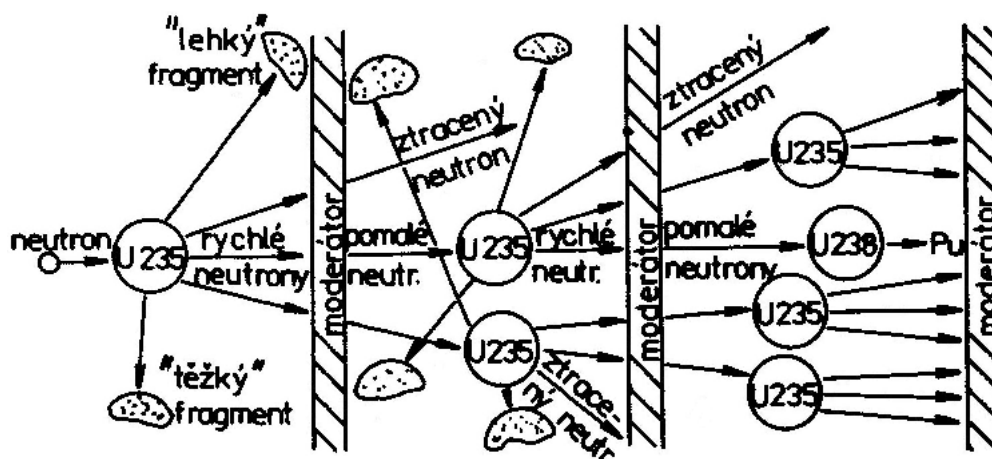


Pomůcka k obrázku: nuklid- atom prvku X charakterizovaný hmotností číslem A (součet počtu protonu a neutronu v jádře), atomovým číslem Z (počet protonů v jádře) a energetickým stavej jádra, označovaným A_ZX zjednodušeně X, A

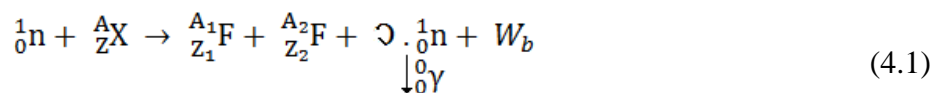
Štěpením jaderného paliva se uvolní nejen relativně velké množství energie, přibližně 25000 MWh tepla na 1 kg hmoty zcela rozštěpené, ale i více neutronů než jich bylo ke štěpení třeba. Uvolněné neutrony jsou schopny, za určitých podmínek, vyvolat další štěpení a potažmo řetězovou reakci, jejíž počáteční stadium popisuje vztah (2.1). Řetězovou reakci udržují ze štěpení jader vzniklé neutrony o průměrné energii 2,5 MeV při štěpení rychlými neutrony (obr. 2.2), nebo v moderátoru zpomalené neutrony, mající kinetickou energii menší 1 eV tj. štěpení pomalými či tepelnými neutrony (obr. 2.3)



Obrázek 4.2. Model řetězové reakce vyvolané rychlými neutrony

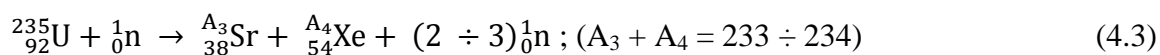
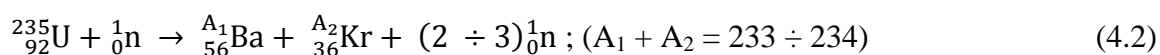


Obrázek 4.3. Model řetězové reakce vyvolané pomalými neutrony



kde: ${}_0^1\text{n}$ primární (iniciační) neutron; ${}_Z^AX$ štěpitelný nuklid; ${}_Z^AF$ fragmenty zaštěpení;
 \varnothing počet sekundárních neutronů ${}_0^1\text{n}$; W_b uvolněná vazebná energie

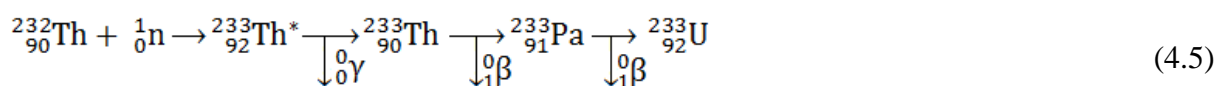
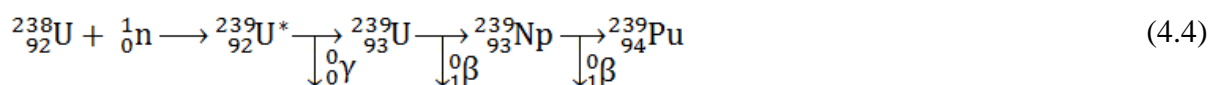
Uvádějí se dvě hlavní reakce s tepelnými neutrony:



Štěpení jader U 235 dle vztahu (2.1) vyvolávají s pravděpodobností asi 84 % pomalé neutrony. Zbývajících 16 % nuklidů pomalé neutrony pohlcuje s následnou emisí kvant γ .

Reakce, kterou popisuje vztah (2.4) se nazývá rediační záchyt.

Nuklidy U 238 a Th 232 štěpitelné pomalými neutrony nejdou. Podléhají však štěpení rychlými neutrony. U 238 s pravděpodobností 20 % je-li zasežen neutronem o energii větší asi 1,4 MeV a Th 232 neutronem o energii ještě větší. A jak již bylo řečeno, jsou pro jadernou energetiku významné v tom, že jsou plodivé, tj. přeměnitelné ve štěpitelné nuklidy následkem záchytu neutronů podle vzorců (2.4) a (2.5).



[2]

4.3 Umístění jaderné elektrárny

Jaderná elektrárna má na umístění veliké nároky. A to jak v geologickém, tak i například v geodetickém směru. Pro výběr vhodné lokality se berou v potaz různé požadavky:

- Vzálenost ke zdroji zásobování vodou. Umístění elektrárny musí být poblíž řeky z důvodu zkrácení přivaděče pro technické zásobování vodou a nemuseli se za nemalé náklady vytvářet jiné hydrotechnické objekty. Málá vzdálenost od výkonného zdroje vody a nevelké převýšení úrovně prostranství nad ním jsou rozhodujícími faktory pro výběr vhodného místa pro stavbu elektrárny.
- Vhodný reliéf lokality. Krajina by měla mít rovný terén, který by měl mít sklon menší jak 0,5% až 1%, aby mohl být zajištěn odvod dešťových a povrchových vod. Je-li terén nerovný, pak se musí upravit.
- Vhodné vlastnosti podloží. Aby bylo podloží vhodné, pak musí vydržet zatížení 20 Nm^{-2} až 25 Nm^{-2} . Cena podzemní části, jejich stabilita a životnost je závislá na vlastnostech podloží. Není-li podloží vhodné pro stavbu elektrárny, pak je zapotřebí alternativních metod a to použití základů ve formě pilotů nebo souvislé železobetonové desky.
- Nízká hladina podzemních vod. Je-li hladina podzemních vod minimálně 5 metrů, pak se dá tato lokalita označit jako „suchá“ a znamená to, že je nezaplavovaná temito podzemními vodami. Byla by hladina nižší jak zmíněných 5 m, pak se musí pro základy použít zařízení pro odvodňování při jejich budování a následná hydroizolace podzemních prostorů. Jsou-li v jaderné elektrárně budovaná uložistiště radioaktivních odpadů, musí být splněna velmi přísné požadavky ve směru výběru lokality a výšky hladiny podzemních vod, a proto základy musí být vždy výše jak hladina těchto vod.
- Vhodná vzálenost k existujícím železnicím a obytné zástavbě. Je-li to vhodně umístěno z hlediska těchto krotérií, tak se stavba může zjednodušit díky pracovní síle, která by se tu naskytla hlavně při stavbě elektrárny a menší náklady na příjezdov komunikace.
- Dostatečná velikost areálu pro vhodné umístění objektů elektrárny a potřebné ochranné hygienické zóny.

Toto však nejsou veškeré požadavky kladeny na lokalitu pro stavbu jaderné elektrárny. Patří sem ještě požadavky týkající se radiační bezpečnosti obyvatelstva při největší projektové havárii reaktorového zařízení. Krom tohoto bezpečnostního opatření ještě platí, že od obydlené zástavby, kde žije více jak 300000 obyvatel, je minimální vzdálenost 25 km a 40 km, žije-li tam více jak 1000000 obyvatel. Tyto vzdálenosti se mohou snižovat na základě provozních zkušeností a růstu technické úrovně bezpečnostních opatření.

Když se podle výše zmíněných požadavků vybírají vhodné lokality, tak jsou asi tak dvě až tři a z těchto se pak vybírá podle těchto technicko-ekonomických podmínek:

1. Kapitálové náklady podle rozdělení:

- technická příprava lokality, demolice a vyvlastnění,
- terénní úpravy lokality,
- vodní stavby,
- příjezdové komunikace,
- zařízení pro dodávky tepelné a elektrické energie,
- prozatimní zásobování energií,

2. Roční provozní náklady podle rozdělení:

- ztráty tepelné a elektrické energie v sítích,
- odpisové částky,
- technické zásobování vodou.

Definitivní výběr lokality je proveden na základě porovnání uvedených nákladů, určených pro stanovený konečný výkon elektrárny. Přednost dostane ta lokalita, která má menší kapitálové a provozní náklady. Při tom je předpoklad, že na hlavní blok budou kapitálové náklady přibližně stejné u všech variant lokalit.

4.4 Popis, jak funguje elektrárna

Moderní jaderné elektrárny jsou tvořeny dvěma okruhy. Pouze první z nich je jaderný a energie vzniklá štěpením jader se tu využívá pro ohřev vody. V druhém nejaderném okruhu se z horké vody vyrábí pára. Ta pohání turbinu, na niž je napojen generátor elektrického proudu. My si fungování ukážeme na příkladu jaderné elektrárny Temelín. Dalo by se rozdělit do čtyř bodů.

1. První okruh je uzavřen v mohutném tubusu ze speciálního 1,2 metru silného betonu, odolného proti radioaktivnímu záření. Vnitřní povrch je navíc pokryt osmimilimetrovou vrstvou nerezové oceli. Této ochranné obálce se říká kontejnment. Chrání okolní prostředí před únikem radioaktivního záření, ale také vlastní reaktor třeba před pádem letadla nebo teroristickými útoky. Do tohoto prostoru se vstupuje podobně jako do kosmické lodi - mezi dvěma hermeticky uzavřenými dveřmi je vyrovnávací komora, obě dveře najednou nemohou být nikdy otevřené.

Srdcem kontejnmentu je jaderný reaktor. Temelín využívá v obou svých blocích tlakovodní reaktor VVER 1000, typ V320. Z označení rozpoznáme elektrický výkon 1 000 MW. Palivo - oxid uraničitý UO_2 s uranem mírně obohaceným o štěpitelný izotop $\text{U}235$ je do reaktoru dodáván v podobě palivových článků. Ty jsou uspořádány v hexagonální mříži. Každý palivový soubor sestává z 312 palivových proutků, 18 vodicích trubek a z jedné centrální měřicí trubky. V celé vsázce je 92 tun paliva. Při jeho výměně se ročně vyjme z aktivní zóny asi čtvrtina palivových souborů.

Samotná štěpná reakce je řízena pomocí řídících tyčí. Ty jsou vyrobeny ze slitiny stříbra,

kadmia a tabletek karbidu bóru tak, aby při zasouvání do aktivní zóny reaktoru pohlcovaly přebytečné neutrony. Plzné zasunutí řídicích tyčí řetězovou reakci zcela zastaví.

Zasouváním a vysouváním řídicích tyčí obsluha ovládá teplotu vody v primárním okruhu, a tím také výkon elektrárny. Voda v reaktoru ale nesmí vařit, provozní teplota je přitom 290-320 °C. Protože var kromě teploty závisí i na tlaku, musí být reaktor navržen jako tlaková nádoba odolávající tlaku 17,6 MPa. To je stejný tlak jako v hloubce 1 760 metrů pod vodou.

2. Voda z jaderného okruhu ohřívá přes výměník tepla vodu určenou pro parogenerátor. Tímto způsobem se sice poněkud snižuje účinnost celého procesu, důsledné oddělení jaderné a nejaderné části však posiluje bezpečnost zařízení. Pára v sekundárním okruhu roztáčí lopatky turbíny. Její hřídel je připojena ke generátoru, a tak teprve v této části elektrárny vzniká elektrická energie.

Za turbínou je pára zchlazována v kondenzátorech. Pro ochlazení páry je využíván třetí okruh, do kterého patří mohutné chladicí věže. Z nich stoupá do ovzduší pouze vodní pára. Jaderná elektrárna tedy na rozdíl od konvenčních elektráren neprodukuje žádné skleníkové plyny, naopak přispívá významným způsobem ke snížení globálních emisí těchto plynů do ovzduší.

Chladicí voda se odebírá z přehradní nádrže Hněvkovice vybudované pro tyto účely na Vltavě. Voda je tak kvalitní, že ji lze používat k chlazení téměř bez chemické úpravy. Voda se přivádí do zásobních vodojemů elektrárny, odtud je odváděna do úpravní chladicí vody a potom do jednotlivých chladicích systémů.

3. V budově, která bezprostředně obklopuje kontejnment s reaktorem, je umístěno řídicí centrum s blokovou dozornou. Tady mají operátoři možnost podrobně sledovat všechny procesy v bloku jaderné elektrárny a odtud regulují řídicími tyčemi výkon reaktoru. Bezpečnost ale zaručují systémy, které jsou na obsluze nezávislé. Navíc jsou v Temelíně zálohovány dvakrát, takže jejich selhání je nepravděpodobné.

Kromě řízených tyčí, pohlcujících neutrony, jsou nad aktivní částí reaktoru zavěšeny ještě havarijní tyče. Visí na elektromagnetu, který se v případě havárie uvolní a tyče tak volným pádem spadnou přímo do reaktoru. Pasivně, tedy bez potřeby elektrické energie, pracuje také havarijní chlazení reaktoru. Pokud v primárním okruhu poklesne tlak, je reaktor automaticky zaplaven vodou. Ochranná obálka (kontejnment) je navíc vybavena automatickým sprchovým systémem.

4. V bezprostřední blízkosti Jaderné elektrárny Temelín stojí renesanční zámek Vysoký Hrádek. V jeho prostorách nevidíte nic z toho, co se v zámcích obvykle nachází, a přesto se stal turistickým cílem jihočeského regionu. Právě zde je totiž umístěno informační centrum temelínské elektrárny. V podkroví zámku je umístěn moderně vybavený kinosál. Při besedě s průvodkyní se prostřednictvím počítačových ukázek a animací seznámíte s funkcí jaderné elektrárny, s hlavními zařízeními, i se základy reaktorové fyziky a bezpečnosti.

[3]

4.5 Jaderné reaktory

V jaderném reaktoru dochází ke štěpení jader atomů těžkých prvků, převážně uranu nebo plutonia. Štěpení je vyvoláno srážkou letícího neutronu s jádrem atomu. Z místa štěpení se velkou rychlostí rozletí dva odštěpky (atomová jádra lehčích prvků) a dva nebo tři volné

neutrony. Zabrzděním odštěpků (přeměnou jejich kinetické energie na tepelnou) v okolním materiálu se uvolní teplo, které pak přestupuje z palivových proutků do chladiva proudícího reaktorem.

Pravděpodobnost, že dojde k rozštěpení dalšího jádra je tím větší, čím je menší rychlost neutronu. Proto jsou v reaktoru materiály sloužící ke zpomalování (moderování) rychlých neutronů. Výjimkou jsou tzv. rychlé reaktory, kde dochází ke štěpení přímo nezpomalenými neutrony. Zpomalování neutronů, vzniklých při štěpení, probíhá postupnými srážkami s jádry moderátoru, který obklopuje palivové proutky.

Zpomalené neutrony jsou buď pohlceny regulačními tyčemi, nebo stíněním reaktoru, případně způsobí rozštěpení jádra dalšího atomu. Pomocí tyčí nebo jiných materiálů pohlcujících neutrony (absorbátorů) se tak reguluje množství volných neutronů v reaktoru a tím i celý proces jaderného štěpení.

Vzniklé teplo se odvádí pomocí chladicí látky proudící reaktorem. Ohřátá chladicí látka (chladio) se používá k výrobě páry v parním generátoru: přes stěny trubek se tam ohřívá voda sekundárního okruhu. Tato sekundární voda, respektive pára, která z ní vzniká, tedy není radioaktivní. Pára roztáčí turbinu spojenou s elektrickým generátorem.

U některých typů jaderných elektráren s jedním chladicím okruhem jsou turbíny poháněny přímo reaktorovým chladičem. Je to sice technicky jednodušší, ale tato výhoda zároveň přináší jednu podstatnou nevýhodu: pára procházející turbinou je radioaktivní.

4.5.1 Druhy jaderných reaktorů a jejich rozdělení

Teoreticky je možno různou kombinací základních součástí konstruovat velký počet typů reaktorů. Více je uvedeno v tabulce (1.5).

Tabulka 4.5. Možné kombinace paliv, chladičů a moderátorů

Palivo	Chladio	Moderátor
uran 235 uran 233 plutonium 239	voda (H_2O) těžká voda (D_2O) oxid uhličitý (CO_2) hélium (He) sodík (Na)	voda těžká voda grafit bez moderátoru

Ve skutečnosti je však značný počet kombinací vyloučen z fyzikálních důvodů, další omezení vyplývající z ekonomických úvah nebo ze specifických podmínek v určité oblasti.

Z fyzikálního hlediska je nejdůležitějším kritériem pro posouzení typu reaktoru neutronové spektrum, tj. rozložení neutronů podle jejich rychlosti (energie). Jestliže má reaktor moderátor, dochází k převážné části štěpení pomalými (tzv. tepelnými) neutrony a hovoříme o tepelných reaktorech. Většina jaderných elektráren ve světě je v současnosti vybavena tepelnými reaktory.


V reaktorech bez moderátoru způsobují převážnou část štěpení rychle letící (rychlé) neutrony. Současně se štěpením dochází v těchto reaktorech k intenzivní tvorbě nového štěpného materiálu (uranu 233 nebo plutonia 239). Pro tento typ se používá název rychlý reaktor.

Podle účelu můžeme jaderné reaktory dělit na výzkumné, které jsou zdrojem záření pro

experimenty v dalších oborech, experimentální (vývojové), které zpravidla předcházejí výstavbu velkých energetických zařízení a mají ověřit zvolenou koncepci a energetické, představující zdroj elektřiny a tepla.

Dále lze reaktory dělit podle použitého moderátoru a chladiva. Z tohoto dělení vycházejí i mezinárodní zkratky označující typ reaktoru. Jako štěpný materiál (palivo) se zatím používá přírodní nebo obohacený uran, například ve formě palivových tablet z UO_2 nebo vhodné slitiny. Rozdělení jsem se snažil zachytit v tabulce

Tabulka 4.6. Jednotlivé, již v provozu, reaktory se svými palivy, chladivy a moderátory

	Zkratka reaktoru	Palivo	Chladivo	Moderátor	% zastoupení na Zemi
1.	PWR	obohacený U	voda	lehká voda	63
2.	BWR	obohacený U	směs vody a páry	lehká voda	22
3.	GCR	přírodní U	oxid uhličitý (CO_2)	grafit	1,5
4.	AGR	nízkoobohacený U	oxid uhličitý (CO_2)	grafit	2,5
5.	LWGR	obohacený U	obyčejná voda	grafit	5
6.	HTGR	obohacený U (cca 900°C)	hélium (He)	grafit	vyjímečně
7.	HWR	obohacený U	lehká nebo těžká voda nebo CO_2	těžká voda	5
8.	FBR	obohacený U	sodík (Na)	není	1

4.5.2 Popis jednotlivých druhů reaktorů

Tento popis je podle toho, na jaké bázi reaktor pracuje a proto mají různé chladiva, paliva a moderátory. Rozdělujeme je:

LEHKOVODNÍ (LWR)

- moderátorem a zároveň i chladivem je obyčejná (lehká) voda. Reaktory LWR představují asi 85 % všech ve světě provozovaných reaktorů a dělí se na dva typy:

a) tlakovodní reaktory (PWR - Presurized Water moderated and cooled Reactor), označované též jako **VVER (Vodo-Vodní Energetický Reaktor)**, jsou dnes nejčastěji používaným typem reaktorů, které mají ve světě zastoupení v 63 % celkového počtu JEZ. Moderátorem i chladivem je obyčejná voda, označuje se proto též jako "lehkovodní". Chlazení reaktoru je dvouokruhové: v primárním okruhu proudí voda pod vysokým tlakem za teploty asi 300°C, v parogenerátoru ohřívá vodu sekundárního okruhu a teprve zde vznikající pára pohání turbínu elektrických generátorů. Tyto reaktory se vyznačují vysokou bezpečností provozu a odolností proti havárii. Použití vody jako chladiva i moderátoru vede k zápornému teplotnímu koeficientu reaktivity: přehřátí aktivní zóny a přeměna vody v páru by vedla ke snížení moderačního účinku a tím k útlumu štěpné reakce. Dvouokruhové řešení též prakticky eliminuje možnost kontaminace např. tritiem. Reaktory používané u nás (Jaslovské Bohunice, Dukovany, Temelín) jsou právě typu VVER.

b) varný (BWR - Boiling Water Reactor)) - je Druhým nejrozšířenějším typem reaktorů. v reaktoru dochází k varu přímo v tlakové nádobě aktivní zóny a tato pára přímo pohání turbínu a palivo je chlazeno směsí vody a páry. Elektrárna s BWR je dnes nejčastěji provozována jako

jednookruhová. Z celkového počtu ve světě provozovaných jaderných elektráren je 22 % typu BWR.

GRAFITOVÉ

- moderátorem je grafit. Mohou být chlazeny oxidem uhličitým, héliem nebo vodou. Z celkového počtu jaderných elektráren ve světě je grafitových 9 %. V praxi se vyskytují následující typy:

a) plynem chlazený MAGNOX (GCR - **G**as **C**ooled & **G**raphite **M**oderated **R**eactor) se aktivní zóna skládá z grafitových bloků moderátoru, kterými prochází velké množství kanálů s palivovými tyčemi (lze je vyměňovat za provozu). Chladivo, proháněné aktivní zónou je plyný oxid uhličitý, který se po ohřátí vede do parogenerátoru, kde ohřívá vodu sekundárního okruhu a vzniklá pára pohání turbínu, palivem je přírodní uran. Z celkového počtu provozovaných JEZ je 1,5 % typu GCR

b) zdokonalený plynem chlazený (AGR) - chladivem je oxid uhličitý, palivem nízkoobohacený uran. Z celkového počtu provozovaných JEZ je 2,5 % typu AGR.

c) vodou chlazený (LWGR) - chladivo je obyčejná voda (varný reaktor), palivo obohacený uran. Jedná se tzv. černobylský typ, ruské označení RBMK. Z celkového počtu provozovaných reaktorů je 5 % typu LWGR.

d) vysokoteplotní (HTGR - High Temperature Gas Cooled Reactor) se uspořádáním paliva a aktivní zóny liší od ostatních typů reaktorů. Palivem je vysoce obohacený uran ve formě oxidu uraničitého (vydrží vysoké provozní teploty až cca 900 °C), jehož malé kuličky (0,5mm) jsou ve velkém počtu rozptýlené v koulích grafitu průměru cca 7cm - jakýchsi oblézcích, nebo v šestiúhelníkových blocích. Palivové koule či bloky jsou volně "nasypány" či naskládány v aktivní zóně, vyhořelé jsou ze dna postupně odebírány a čerstvé shora dosypávány. Chladivo, proháněné aktivní zónou je plyný hélium, které se po ohřátí vede do parogenerátoru, kde ohřívá vodu sekundárního okruhu a vzniklá pára pohání turbínu. Výhodou reaktorů tohoto typu jsou menší rozměry, poměrná jednoduchost a menší ekonomická náročnost - připomínají tak trochu "stáložárna kamna", do nichž se shora sype koks a zdola se odebírá popel a škvára. Považují se proto za perspektivní řešení.

TĚŽKOVODNÍ (HWR)

- moderátorem je deuterium ve formě těžké vody (D_2O) má velmi dobré moderační vlastnosti, což umožňuje jako štěpný materiál používat přírodní, nebo jen slabě obohacený uran; používá se většinou ve formě oxidu (UO_2). Bylo vyvinuto několik typů "těžkovodních" reaktorů, v nichž moderátorem je těžká voda, ale jednotlivé varianty se liší chladivem a způsobem přenosu tepla:

a) PHWR (**P**resurized **H**heavy **W**ater **M**oderated and **C**ooled **R**eactor) - tlakový reaktor moderovaný a chlazený těžkou vodou používá jako palivo přírodní uran, chladivem a moderátorem je těžká voda, která z primárního chladicího okruhu předává své teplo obyčejné vodě v parogenerátoru, odkud pára pohání turbínu;

b) HWLWR (**H**heavy **W**ater **M**oderated **B**oling **L**ight **W**ater **C**ooled **R**eactor) - těžkou vodou moderovaný a lehkou vodou chlazený varný reaktor;

c) BHWLWR (**B**oiling **H**heavy **W**ater **C**ooled and **M**oderated **R**eactor) - varný reaktor moderovaný i chlazený těžkou vodou;

d) HWGCR (**H**heavy **W**ater **M**oderated **G**as **C**ooled **R**eactor) - těžkou vodou moderovaný a plynem chlazený reaktor.

Nejznámější z těžkovodních reaktorů je kanadský typ CANDU. Z celkového počtu provozovaných JEZ je 5 % typu HWR.

RYCHLÉ MNOŽIVÉ (FBR)

- jaderné štěpení vyvolávají nezpomalené neutrony, v reaktoru není moderator. Jako chladivo se téměř výhradně používá sodík. Z celkového počtu provozovaných JEZ je asi 1 % typu FBR.

5 POROVNÁNÍ A POSOUZENÍ MOŽNOSTÍ STAVBY JADERNÝCH ZDROJŮ NA NAŠEM ÚZEMÍ A VE SVĚTĚ

Jako hlavní kritérium bych vzal v potaz, že jaderná energetika spěje pomalými, ale jistými kroky k tomu, aby to byla jedením z nejlepších producentů tepelné a elektrické energie. Dalším možným kritériem, proč právě jaderná energetika pro výrobu elektřiny, by mohla být i možnost jiných zdrojů, které neškodí okolnímu prostředí, dále pak bezpečnost jak při stavbě, tak při provozu elektráren a bezpochybně hlavně ekonomická stránka pro tento problém.

5.1 Posouzení z hlediska využitelnosti jaderné elektrárny

Jak již bylo zmíněno, Francie má jako evropská země největší procentuální poměr výroby elektrické energie z jaderných elektráren, a to i proto, že zde investují nemalé finance pro vývoj budoucích zdrojů energie. Francie, na to jak je oproti jiným velmocem „malá“, má velké množství reaktorů v provozu. Jedná se k prosinci 2008 o počet rovnající se hodnotě 59 reaktorů v provozu, které mají celkovou kapacitu 63473 MWe. Oproti oblastně větší velmoci, která má na svém území jednu z nejhlavnějších firem, co vyrábí reaktory (Westinghouse), je Francie procentuálně na vysoké úrovni, ale v počtu reaktorů má „navrch“ USA, která disponuje se 104 funkčními reaktory o celkovém výkonu 100845 MWe. I tato čísla jsou platná k prosinci letošního roku. Jako další by v budoucnu měla být „gigantem“ ve výrobě energie z jaderných reaktorů i Čína, která sice zatím disponuje 11 reaktory o celkovém výkonu 8587 MWe, ale ve stavbě, plánovaný a v návrhu mají číňané zhruba 109 reaktorů, které budou mít celkový výkon 96240 MWe, což by jim celkově dělalo přes 10,5 TWe.

5.2 Posouzení z hlediska možnosti jiných elektráren

Jako dalším zřetelem, když víme, že elektrárna bude dostatečně „vytížená“, je zda se nadají postavit (jak jiní říkají) méně nebezpečné elektrárny. Podle Rakouského státu by to mohly být větrné elektrárny, které jsou (to vše jen podle mých úvah) snad ještě nebezpečnější, když je zima a napadne na to sníh. Je to pak taková „nečasovaná bomba“, která sice ublíží jen v okolí větrné vrtule, ale například v Rakousku jich mají mnoho, takřka všude, kde se jen člověk podívá. A hlavní, proč jim to vyhovuje, že mají hory, které jim pomáhají k tomu, aby měli vítr skoro stálý. Další zdrojem energie jsou vodní elektrárny a solární, ty bych u nás například moc nezahrnoval, protože podle mě jsou solární panely zatím tak málo přizpůsobivé našemu počasí, že přijímání slunečního záření, kterého na našem území přes podzim je velmi málo a vodní, na to máme málo řek a veškerých vodních toků. Proto bych u nás byl zastáncem elektráren jaderných, které jsou dosti hlídány nato, aby byly nebezpečné. V těchto letech, kdy bezpečnost a finanční požadavky jsou na prvním místě, je jaderná energetika budoucností.

5.3 Posouzení z hlediska umístění

Jak jsem již v některé z předcházejících kapitol zmínil (2.3), umístění jaderné elektrárny je velmi důležitým faktorem pro jeho budoucí stavbu. Musí být splněny základní požadavky, které bych shrnul pouze obecně. Jedná se o to, aby byla v blízkosti voda (vodní nádrž, řeka,...), bylo velmi pevné podloží, nejlépe rovinný reliéf, příjezdové komunikace a dodržení vzdálenosti od větších měst a finanční prostředky. U nás je zatím do budoucna dostavba dalších dvou bloků v Temelíně, protože je na to dostatečný prostor a nemusí se složitě hledat jiné území, kde by se stavěl jiný areál, kde by byla již třetí česká jaderná elektrárna.

6 PROBLEMATIKA JADERNÉ ENERGETIKY – JADERNÉ ODPADY

Objem menší jak 1% ze všech jaderných odpadů pochází z vyhořelého paliva jaderné elektrárny a je dosti nebezpečné, protože obsahuje přes 90% veškeré radioaktivity. I když by si každý mohl myslet, že vyhořelé palivo by mělo být odpadem, ale ve skutečnosti může být i cenným zdrojem surovin nebo by pro jený typ reaktoru mohl být i palivem. Naše dvě jaderné elektrárny vyprodukují během celé doby svého provozu celkem asi 3000 tun vyhořelého paliva.

Vyhořelé jaderné palivo ve formě kazet vypadá stejně, jak čersvté palivo (tzn., vypadá nepoškozeně a čistě). V tlakovodních reaktorech jsou palivové články pokryty obalem ze slitiny zirkonia, která je mnoho odolnější než třeba nerezavějící ocel. Výdrž palivových článků v reaktoru byla vysoká a to 300 °C při tlaku 12 MPa, a proto pak lehce odolávají mírnějším podmínkám při manipulaci a při skladování. Čím se však velmi rozlišují čersvté a vyhořelé články, je radioaktivita látky, kterou obsahují.

6.1 Skladování

Skladování je rozděleno do několika etap a ty jsou závislé na i na tom, ve které jaderné elektrárně se palivo nachází. Tyto etapy jsem popsal v dalších třech podkapitolách. Konečná fáze uložení je závislá na technologiích, které byly dosud objeveny.

6.1.1 Skladování hned z reaktorů

Z reaktoru se vyhořelé palivové články umísťují k chlazení a „odpočinku“ do bazénu. Je to hlavně způsob pro pozdější suché uložení do meziskladu. Jak se dozvíme v následujícím textu. Uchovává se zde po dobu několika let.

6.1.2 Skladování vyhořelého paliva v meziskladu

Mezisklad pro jaderné odpady ná slouží hlavně ke dvěma věcem. A to aby za čas, který tam odpad bude, klesala radioaktivita odpadu a pak s ním je usnadněná manipulace. A druhým z hlavních aspektů je doba, kterou tam může být, aby se rozmyslelo co s odpadem dále například, jestli se neobjeví nová, modernější technologie na využití tohoto odpadu. V meziskladu se palivo „zdrží“ asi 40 – 50 let a to z toho ekonomického důvodu. Když totiž palivo jde v současné době do hlubinného úložiště, je lepší ho tam uložit vše naráz, než ho tam dávat postupně a financovat

údržbu tohoto uložistiště. Mezisklady jsou umístěny většinou v areálech jaderných elektráren a máme dva druhy těchto skladů (mokré a suché).

Mokrý způsob je ve světových atomových elektrárnách nejrozšířenějším. Vyhořelé palivo se umístí do vodního bazénu a ty jsou buď u reaktoru, nebo mimo něj. Voda je dostatečným ochráncem obsluhy elektrárny před zařízením a zaručuje dobrý odvod tepla. V tomto prostředí (vodním) se také snadno vyhořelé palivo kontroluje vizuálně. Nevýhodou tohoto skladování je stále chlazení vody a její čištění, ze kterého je vznik radioaktivního odpadu. I proto jsou provozní náklady větší jak u suché metody skladování. Skladování použitých článků v bazénech po dobu mnoha let není problémem, protože zvýšení kapacity většina elektráren, používající tento způsob skladování, zajistila husějším ukládáním palivových článků.

Suché skladování se používá například v našich jaderných elektrárnách a skladování je ve



stíněných konterjnerech. Tomuto způsobu je dáвана přednost při delším intervalu skladování. Uložení vyhořelého paliva je v kontejnerech (betonových nebo kovových) nebo dokonce je ukládáno do tzv. betonových sklípků. Tento způsob není nákladný a rozšíření kapacit je snadné. Z tohoto způsobu také jsou velmi malé až žádné množství korozních produktů. Jak víme, vyhořelé palivo se do tohoto způsobu skladování ukládá po několika letech odpočinku v „chladícím“ bazéně.

Pro naše dvě jaderné elektrárny jsou úložištěm Dukovany, kde byla výstavba zahájena elektrárenskou společností ČEZ, a. s., a to již v roce 1987. V trvalém provozu je úložiště od roku 1995. Jsou zde ukládány plechové sudy s odpady. Celková kapacita úložných prostor je 55 000 m³ což představuje zhruba 180 000 sudů. Tato kapacita by měla vystačit po dobu 40 let pro ukládání nízkoaktivních jaderných odpadů.

Obrázek 6.1. Ukládání Jaderného odpadu suchou metodou v plechových sudech

6.1.3 Skladování v hlubinném úložišti

Vzhledem k tomu, že požadavky na izolaci vysokoaktivního odpadu od biosféry jsou vysoké, všechny projekty jsou pro dlouhodobé (míněno časovým obdobím v měřítku delším jak 10 tisíc let, ale spíše 40 -100 tisíc let) hlubinné úložiště situovány do hloubek několika set metrů. Geologické podmínky v ČR jsou takové, že se u nás vybuduje hlubinné úložiště v žulovém (granitovém) masivu v seizmicky stabilní oblasti. Podobné žulové formace jsou i ve výzkumu v podzemních laboratořích v Kanadě a Švýcarsku. Dale je zapotřebí, aby v oblasti tohoto uložení nehrozila vulkanická činnost a nebyla geologicky porušena. I proto se staré doly vylučují a raději se vytváří pro tyto účely nové. Většina zemí přijímá hlubinné úložiště, kde se úložné kontejnery obkládají bentonitem. Díky finanční a časové náročnosti se předpokládá, že do hlubinného úložiště bude znemožněn přístup budoucím pokolením, aby se nedostali do kontaktu s tímto materiálem.

Dalšími aspekty jsou tzv. bezpečnostní bariéry hlubinného úložiště. Jako první by mohla být ta, která zajišťuje znehybnění radionuklidů v odolné a nerozpustné chemické formě (matrici).

Touto chemickou formou může být u vysokoaktivních odpadů borosilikátové sklo nebo keramické materiály. U středněaktivních odpadních materiálů je tato forma v podobě cementu či bitumenu (asfaltová živice).

Další vyzkoušená metoda je i tzv. synroc (synthetical rocks), což znamená, že se ho velmi trvanlivé umělé horniny (chemicky vytvořené) zabuduje odpad.

Jako další bariérou je obal, ve kterém je jaderný odpad uložen. Jedná se o silnostěnný ocelový kontejner nebo měděná nádova (uvažuje se o nadobách z titanu), kam se ukládají vysokoaktivní odpady. A minimální doba izolace odpadu od okolí je asi 1000 let. Zato plechové sudy a betonové kontejnery se používají u nízkoaktivních až středněaktivních odpadů. Jejich stínění před zářením by mělo působit 300 až 600 let.

Mezi další bariéru by se daly zařadit betonové parkety nebo přebaly, v nichž nakonec skončí betonové kontejnery či plechové sudy. Mezi technickou bariéru patří konstrukce na povrchu, pod úrovní terénu nebo v geologických formacích, mezi něž patří speciální betony, nepropustné nátěry, asfaltové nebo jílové izolace a drenážní systémy.

V přírodních bariérách bychom mohli mít například vlastní geologickou formaci, v níž je hlubinné úložiště umístěno. Výběr této geologické formace je mezi horninami, které posledních miliony let se prokazatelně nezměnily, a předpoklad do budoucna je, že budou stabilní a dále se hodnotí její pevnost, nerozpustnost a tepelná stabilita. Mezi tyto geologické formace patří solná ložiska, jílové sedimenty, tufy, granity (žuly) a rulové horniny.

Délka životnosti inženýrských bariér je 300 let a životnost hmoty, ve které jsou radionuklidy znehybněny až milion let. Stabilita geologických formací pro hlubinné úložiště je až 70 milionů let.

6.1.4 Přeprava a skladování

Pro transport a přepravu vyhořelého paliva jsou v českých jaderných elektrárnách použity speciální dvouúčelové kontejnery (obalové soubory). Tyto obalové soubory nám šetří časové i technické prostředky, protože při případném transportu se nemusí nijak překládat odpad, ale převáží se přímo v nich.

Díky skladování odpadu v těchto souborech se i po čase, za který se objeví moderní technologie na zpracování odpadu, může použít. Obalový soubor se skládá z tlustostěnné uhlíkaté či nerezavějící oceli, z mědi nebo kombinace mědi a oceli. Existují i titanové. Podle propočtů projektanty by měly být kontejnery hermetické až po statisíce let. Tyto kontejnery musí vydržet velké tlaky a to jak teplotní tak mechanické a jsou připraveny vydržet například náraz plně rozjeté lokomotivy nebo pád dopravního letadla.

Transport se řídí přísnými pravidly a ročně je přepraveno po celém světě 10 milionu zásilek s radioaktivním obsahem a z toho 10 % přes hranice. Ale pouze čtvrtina procenta z 10 milionu zásilek je spojeno s jadernou energetikou a tři tisíce procenta s vyhořelým jaderným palivem.

Přeprava je pod přísnými předpisy jak národními, tak mezinárodními, které vychází z doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii se sídlem ve Vídni (MAAE) a Mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP).

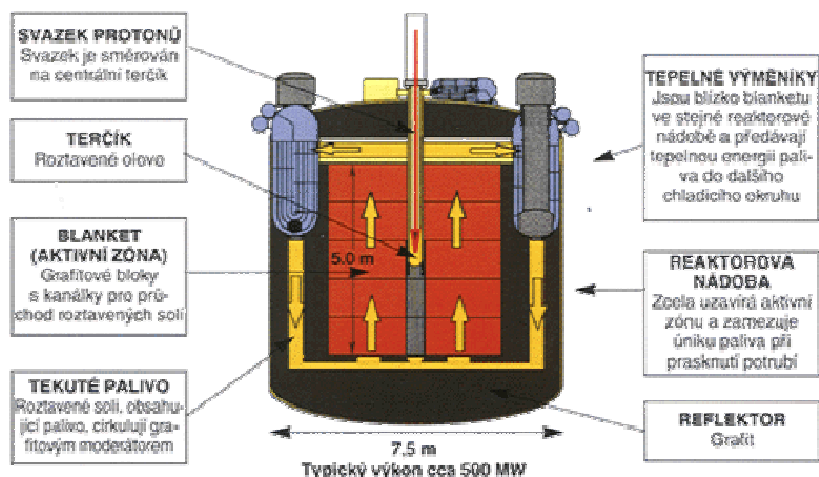
6.2 Jiné využití jaderného odpadu

Dalším využitím jaderného odpadu by se dalo říci, že je zpětnévyužití. To by znamenalo, že elektrárny by byly obnovitelným zdrojem energie a surovin. „Vyhořelé“ palivo má obsah 95 % nespotřebovaného uranu, a z toho 1 % štěpitelného U235 a 1 % Pu239. Hlavní podíl radioaktivity mezi těmito štěpitelnými produkty nesou Cs137 (cesium) a Sr90 (strocium). Oba tyto prvky mají poločas rozpadu okolo 30 let. Rozpadá-li se vyhořelé palivo, myslí se z radiativního hlediska, tak postupně ztrácí radioaktivitu a četné radioizotopy přecházejí na neaktivní prvky, jejichž oddělení z odpadu by pro budoucí průmysl mohl být zajímavý. Jedná se například o Pt (platinu), Ru (ruthenium), Rh (rhodium), Pa (paladium), Ag (stříbro), prvky vzácných zemin a další.

Ty země, které mají rozsáhlý jaderný program, se rozhodly pro přepracování vyhořelého paliva. Existují komerční závody (La Hague, Marcoule, Sellafield, a jiné). Do těchto všech závodů se vejde asi 25 % vyhořelého paliva ze současných jaderných elektráren. Ve Francii se vypočítalo, že zhruba 10 tun plutonia vyhořelých palivových článků se za ro rovná 11 milionům tun ropného ekvivalentu. Princip přepracování paliva je známý od 40. Let 20. Století. Odstraní-li se zirkoniový obal a články se rozdělí na kratší kusy (vše pomocí robotů), pak se palivo rozpustí v kyselině dusičné a z roztoku se chemicky oddělují jednotlivé složky. Z toho vznikne plutonium (při jaderné reakci vzniká plutonium), které se použije jako palivo. Uran je použit na výrobu nového paliva. Zbytky pokrytí původního článku jsou středněaktivní odpady. Štěpné produkty se oddělí a vyfiltrují, pak z jedné tuny vyhořelého paliva vznikne 115 litrů vysoceaktivního odpadu, který se převede do formy skla. V nedávné době se i ČR zapojila do tohoto programu, kde se palivo transmutuje.

„Novou“ technologií by se dala nazvat tzv. Technologie ADTT, kde v překladu by se dalo říci, že se jedná o urychlovačem řízené transmutační technologie. V tomto vývoji technologie se směřuje k dalšímu využití velkého potenciálu jaderné energie, kterou současné reaktory nedokáží z paliva uvolnit.

Současně tato technologie umožňuje přeměnu dlouhožijících radionuklidů na radionuklidy s kratší dobou radioaktivity. Již v 50. letech minulého století byla navržena technologie ADTT, která spočívá v tom, že radioaktivní odpad je rozpuštěn nebo roztaven v těžké vodě a odstřeluje neutrony. Ty jsou vznikány v oloveném terčíku, na který dopadá svazek protonů, které urychluje mohutný lineární urychlovač. Poté neutrony „rozstřílejí“ radioaktivní izotopy na radioizotopy s krátkým poločasem rozpadu nebo na neaktivní izotopy. Zbylé palivo (odpad) z těchto reaktoů pak má dobu uložení 10 až 50 let, aby byli neškodné. Tím, že reaktor obsahuje podkritické množství štěpitelného paliva, nemůže nastat řetězová štěpná reakce. Regulování výkonu reaktoru je možné pomocí urychlovače. Při transmutaci se vytváří velké množství tepla. Při instalování urychlovače do areálu jaderné elektrárny je možná pak výroba elektřiny i z vyhořelého paliva. Technologie ADTT je schopno využívat i thorium, místo vyhořelého paliva. Stačí nám „pouze“ 12 gramů thoria a vznikne nám tolik energie, jako při spálení 30 tun uhlí. Z této technologie by mohl být při své schopnosti přeměnit 99 % svých zplodin téměř bezodpadový zdroj energie. Jediné co brání výstavbě urychlovače je nízká účinnost dodávky neutronů a vysoká cena výstavby obdobného zařízení.



Obrázek 6.2. Schéma reaktoru ADTT

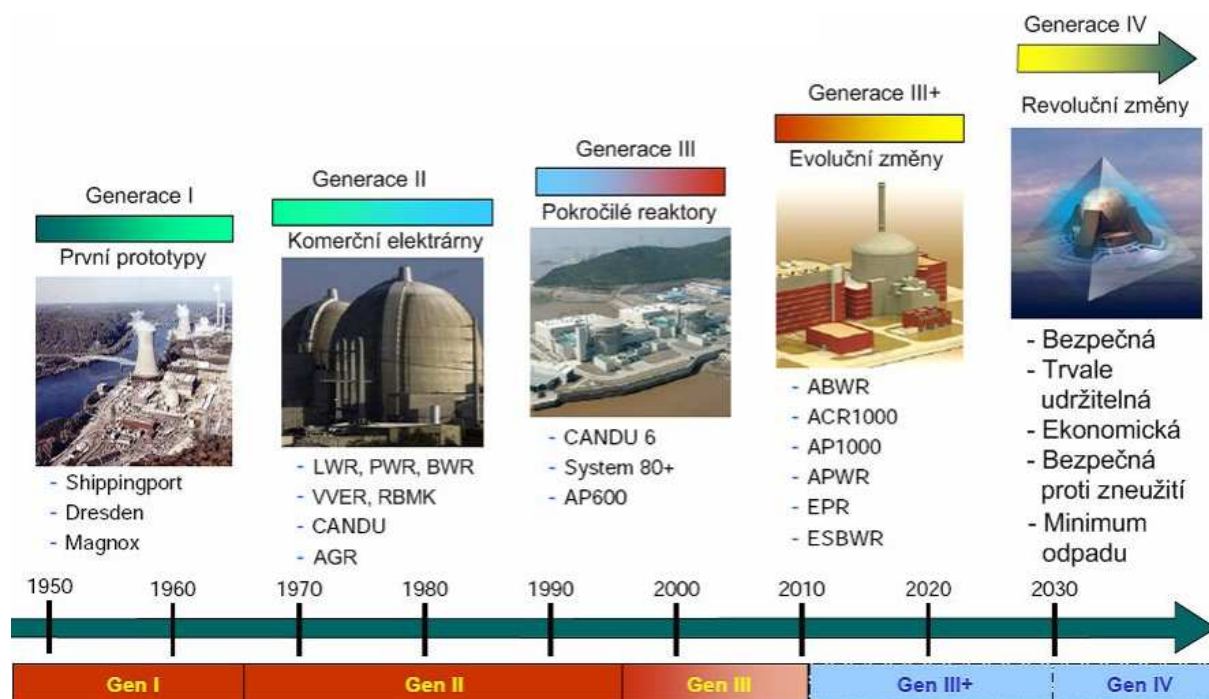
6.3 Jaké jsou do budoucna předpoklady pro jaderný odpad

Budoucnost v ukládání jaderného odpadu by mohla být v tom, že by se ukládal do síry. Tento projekt byl v roce 1990 v Rusku nově ve vzniku a spočívá v tom, že by do až pěti kilometrových vrtů byl radioaktivní odpad v hermetických pouzdrech uložen s výplní nízkotavitelným a ve vodě nerozpustitelným materiálem, což by mohla být síra. Ta se díky vlastnímu teplu odpadu roztaví a zvýší teplotu vrtu dna na 500 °C. Díky roztažnosti hornin a chemického působení síry se průměr vrtu zvýší, odpad klesne více dolů. Vznik „kapky“ o teplotě 1800 °C a síra vytvoří s oxidy železa z okolních hornin pyrit. Když vše pomalu klesá, ztlácí se radiaktivita a postup se zpomaluje. Pokles může být až do 10 km, proto lze vrt být použit i třikrát. Vytvořený nepropustný pyrit tvoří tzv. matici, která brání úniku radionuklidů nejméně 3 miliony let.

Další možností jsou již zmíněné metody ADTT, které by byli velikým přínosem, ale bohužel to zatím je velmi složitá cesta k tomu, aby to bylo plně funkční, bez jakýchkoliv problémů.

7 BUDOUNOST

Jako alternativa pro dodávku elektrické energie pro těžko dostupná místa a místa, kde je velká seismická aktivita by mohla být Ruskem budována plovoucí jaderná elektrárna, která bude mít podle informací 2 reaktory o výkonu jednoho reaktoru 70MW. Celé by to mělo být na plošině 144m dlouhé. Na obrázku (5.1) je znázorněný energetický vývoj.



Obrázek 7.1. Generace v jaderné energetice

7.1 Budované reaktory

Do budoucna by mělo být šest typů reaktorů, které patří do tzv reaktorů IV. generace, které se budou vyvíjet. Rozdělení je závislé na chladicím médiu a moderátorem. První dva jsou reaktory, které budou produkovat elektrickou energii případně vodík.

Zde je šest typů reaktoru, které budou v budoucnu vyvíjeny:

- I. Reaktory s velmi vysokou teplotou (VHTR – **V**ery-**H**igh-**T**emperature **R**eactors)
- II. Reaktory využívající vodu v superkritické fázi (SCWR- **S**uper**C**ritical **W**ater **R**eactors)
- III. Reaktory založené na roztavených solích (MSR - **M**olten **S**alt **R**eactors)
- IV. Rychlé reaktory chlazené plynem (GFR – **G**as-**C**ooled **F**ast **R**eactors)
- V. Sodíkem chlazené rychlé reaktory (SFR – **S**odium-**C**ooled **F**ast **R**eactors)
- VI. Olovem chlazené rychlé reaktory (LFR – **L**ead-**C**ooled **F**ast **R**eactors)

7.1.1 Reaktory s velmi vysokou teplotou

(VHTR – Very-High-Temperature Reactors)

Reaktory pracující s moderovanými neutrony. Pro moderaci se plánuje využití uhlíku. Jako chladivo by se využívalo helium. Reaktor by pracoval při velmi vysoké teplotě, zhruba 1000°. Ta by umožnila jeho využití k produkci vodíku i pomocí termochemických metod. Nepočítá se s využitím přepracovaného vyhořelého jaderného paliva. Při jeho konstrukci lze vycházet ze zkušeností získaných při konstrukci a provozování britských plynem chlazených reaktorů s grafitovým moderátorem Magnox a AGR. Ty však pracovaly při daleko nižší teplotě a s jiným plynem jako chladivem. Hlavně se tak bude navazovat na zkušenosti s provozem experimentálních vysokoteplotních reaktorů chlazených plynem a testů jejich použití pro produkci tepla a elektrické energie. Do jisté míry jde tedy o projekt, který evolučně rozvíjí stávající řešení. Ovšem požadavek, aby systém pracoval při teplotách okolo zmíněných 1000° znamená radikální skok v nárocích na kvalitu použitých materiálů. Sedm členských zemí fóra pro generaci IV podepsalo v listopadu 2006 dohodu o střednědobém plánu vývoje potřebných technologií. Základní koncepce konkrétního projektu reaktoru by měla být stanovena do roku 2010 a optimalizace systému a jeho vlastností by měla být dokončena v roce 2015. Jedná se o jediný typ reaktorů generace IV, který by mohl být k dispozici před rokem 2030.

7.1.2 Reaktory využívající vodu v superkritické fázi

(SCWR – SuperCritical Water Reactors)

Jedná se opět o klasické reaktory s moderovanými neutrony. V tomto případě se jako moderátor i chladící medium používá voda v superkritické fázi. Jedná se v principu o lehkovodní reaktor chlazený a moderovaný vodou za vysokého tlaku a teploty. Hodnoty teploty a tlaku překračují současně hodnoty pro superkritický bod ve fázovém diagramu (pro vodu to je 374,15° a 22,12 MPa). Konkrétně se uvažuje o teplotě mezi 510 a 550 ° a tlaku 25 MPa. V takovém případě je tekutina ve stavu jedné fáze a má částečně vlastnosti kapaliny i plynu. Výhodou využití vysoké teploty chladícího media je vyšší efektivita konverze tepelné energie. V daném případě se využitím vody v superkritickém stavu zvýší účinnost elektrárny z 33% na 45%. Výhodou tohoto typu reaktorů je, že je založen na dvou známých a dobře odzkoušených technologiích.

Lehkovodní reaktory (varné i tlakové) patří k nejpoužívanějším typům současných reaktorů a spolehlivě fungují už řadu desetiletí. Jako palivo by se používal osvědčený oxid uranu. Pasivní bezpečnostní prvky jsou podobné těm známým z konstrukce varných lehkovodních reaktorů. Využití vody v superkritické fázi je docela běžné u klasických spalovacích elektráren. Hlavním cílem tohoto reaktoru by měla být levná a efektivní výroba jaderné energie. Jsou úvahy navrhnout i variantu, ve které by se potlačila moderace neutronů a reaktor by pracoval jako rychlý. Ovšem v tomto případě se vývoj takové koncepce dostává do neznámých končin a bude mnohem náročnější.



Obrázek 7.2. Při konstrukci lehkovodního reaktoru využívajícího vodu v superkritické fázi lze vycházet z širokých zkušeností s velkým počtem lehkovodních reaktorů ve světě. Na obrázku je elektrárna Enrico Fermi v USA, jejíž třetí blok je varný lehkovodní reaktor.

7.1.3 Reaktory založené na roztavených solích

(MSR - Molten Salt Reactors)

Tento typ reaktoru může v principu pracovat jak jako rychlý tak i klasický reaktor. Jako palivo i chladivo by sloužily roztavené soli, uvažuje se například o fluorových solích. Představuje ve skutečnosti řadu různých potenciálních řešení, které se liší v použitém palivu, chladivu i spektru používaných neutronů. V některých modelech by roztavené soli mohly sloužit jen jako chladivo. Stejně jako v případě tekutého sodíku by nebylo potřeba mít vysoký tlak i pro vysoké teploty chladiva. Reaktor by mohl pracovat i při teplotách potřebných pro produkci vodíku. Palivo by bylo v tomto případě v keramické formě rozprostřeno v grafitové matici, která by zároveň sloužila jako moderátor. V jiných variantách by bylo palivo obsaženo v solích ve formě fluoridu uraničitého (UF_4) nebo fluoridu thoričitého (ThF_4). Uvažují se i varianty bez moderace pracující v podobě rychlého reaktoru a i zaměření na spalování thoria. V jakém režimu bude daný reaktor pracovat, závisí na jeho konkrétní konstrukci. Problémem je, že, ač možnosti reaktorů s roztavenými solemi se uvažují již dlouho, existují, kromě experimentálních testů v šedesátých letech minulého století, pouze na papíře. Jedná se pravděpodobně o nejnáročnější typy reaktorů generace IV. Ač tedy slibují řadu výhod, cesta k funkčnímu ekonomickému modelu bude ještě velmi náročná a dlouhá. Velké zkušenosti s chemií roztavených solí jsou právě v Česku. V Ústavu jaderného výzkumu a.s. v Řeži je chemická skupina, která se do mezinárodního výzkumu na těchto typech reaktorů intenzivně zapojuje.

Dále se podíváme na projekty zaměřené na rychlé reaktory, které by mohly umožnit využívat veškerý potenciál skrytý v uranu a případně i thoriu.

7.1.4 Rychlé reaktory chlazené plynem

(GFR – Gas-Cooled Fast Reactors)

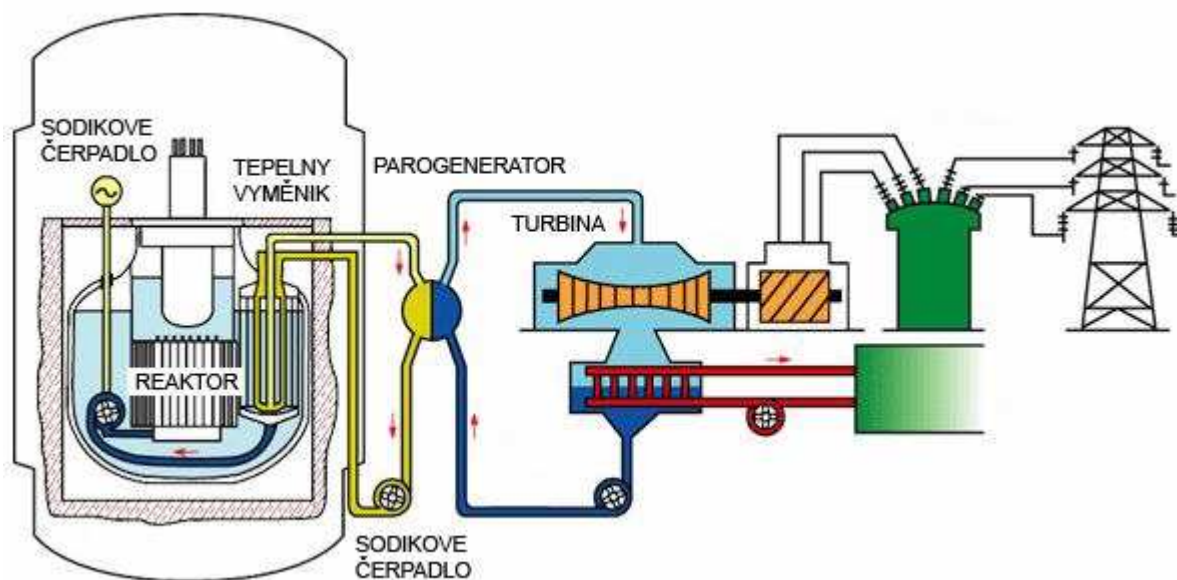
Takové reaktory zatím také v provozu nejsou. I když lze využít řadu zkušeností získaných s klasickými plynem chlazenými reaktory. Jako chladivo by se používalo helium a pracovní teplota by byla zhruba 850° . Tato teplota by umožňovala efektivní produkci vodíku. Při výrobě elektřiny by plyn přímo poháněl plynovou turbínu. Jako palivo by se mohl používat i uran, ale efektivně by se spalovaly i transurany z vyhořelého jaderného paliva. V případě funkce v množivém režimu by

část paliva byla v podobě ochuzeného uranu. Palivo by mělo být v keramické podobě a pro zajištění co nejefektivnějšího spalování v podobě kuliček či hranolů. K přepracování vyhořelého paliva by docházelo přímo v areálu elektrárny. Uran a transurany by se oddělovaly k dalšímu využití tak, aby se co nejvíce snížil objem radioizotopů posílaných do konečného úložiště.

7.1.5 Sodíkem chlazené rychlé reaktory

(SFR – Sodium-Cooled Fast Reactors)

Jedná se o rychlé reaktory, kde se jako chladivo bude využívat tekutý sodík. Pracovní teplota se předpokládá okolo 550° . S těmito reaktory je bohatá zkušenost. V současnosti fungující rychlé energetické reaktory jsou právě tohoto typu. Ať už se jedná o reaktor Phoenix ve Francii, reaktor v japonském Monju i velmi spolehlivě fungující reaktor BN-600 v ruské Bělojarské elektrárně, který jsem nedávno na Oslovi popisoval. Právě tři zmíněné státy se díky své velké zkušenosti s těmito reaktory velmi intenzivně zapojily do práce nad projektem těchto reaktorů. Spektrum rychlých neutronů by umožnilo v množivém režimu efektivní produkci paliva z uranu 238 i velmi efektivní spalování jak plutonia, tak i ostatních transuranů. Předpokládají se dvě varianty. Menší s výkonem 150 až 600 MWe. Palivo by v tomto případě bylo v kovové podobě, obsahující uran, plutonium i další transurany. Větší zařízení by měla výkon mezi 500 až 1500 MWe. Jako palivo se v tomto případě plánuje směs plutonia a uranu v podobě oxidů těchto prvků. V obou případech se uvažuje o různé formě přepracování paliva přímo v areálu elektrárny. Z rychlých reaktorů by měl být k dispozici nejdříve, možná i před rokem 2030.



Obrázek 7.3. Při konstrukci sodíkem chlazených rychlých reaktorů je možné vycházet ze zkušeností s reaktorem BN-600, který pracuje v Bělojarské jaderné elektrárně. Jeho schéma je na obrázku (zdrojPro Atom Web).

7.1.6 Olovem chlazené rychlé reaktory

(LFR – Lead-Cooled Fast Reactors)

S olovem chlazenými reaktory jsou také dlouholeté zkušenosti. Spolehlivě například fungují na ruských ponorkách. Pro chlazení se plánuje využívat olovo nebo eutektická směs olova a bismutu. Výhodou směsi olova a bismutu je snížení teploty tavení. Jeho nevýhodou je pak, že reakcemi neutronů s bismutem a následným rozpadem beta se produkuje radioaktivní izotop ^{210}Po (poločas rozpadu v řádu stovky dnů), který je nebezpečným alfa zářičem. Olovo se taví teprve při teplotě 327° , eutektická slitina pak už od teploty 123° . Běžná pracovní teplota by měla být 550° . Při použití speciálních materiálů pro konstrukci chladicího okruhu by však pracovní teplota mohla být až 800° . Tyto vyšší teploty by umožnily termochemickou produkci vodíku pro vodíkové hospodářství. Palivo by bylo v kovové formě nebo ve formě nitridů uranu a plutonia. Rusko se, díky své vyvíjené koncepci olovem chlazeného rychlého reaktoru BREST a čtyřicetileté zkušenosti tohoto typu reaktoru u svých ponorek, velmi aktivně zapojilo i do práce na této koncepci reaktoru. Kromě středně velkých reaktorů s elektrickým výkonem 600 MWe se plánuje i vývoj malého kompaktního mobilního reaktoru s výkonem 10 až 100 MWe, který by měl velmi dlouhý interval mezi výměnou paliva (15 až 20 let). Po této době by se mobilní reaktor vrátil do výrobního závodu, kde by byla výměna paliva provedena. Zákazník by s palivem nemusel manipulovat.

[4]

7.2 Reaktor pro jadernou fúzi

Další budoucností je reaktor pro jadernou fúzi. Jak bylo nedávno oznámeno, Mezinárodní termonukleární jaderný reaktor (International Thermonuclear Experimental Reactor - ITER), jehož cílem je prověřit komerční reálnost výroby elektrické energie pomocí jaderné fúze, bude postaven do roku 2016 ve Francii. Na projektu se podílí řada států, včetně USA.

Dva vodíkové izotopy - deuterium a tritium - se zahřívají v komoře na více než 100 milionů stupňů Celsia, při této teplotě vytvoří plasmu (ionizovaný plyn). Supravodivé prstence obklopující komoru vytvoří magnetické pole kondenzující plasmu, to přinutí deuteriová a tritiová jádra ke kolizím, při kterých vzniknou jádra helia a uvolní se neutrony. Hmotnost heliových jader a neutronů je menší než hmotnost jader vodíkových izotopů, ze kterých vznikly, tento rozdíl se uvolní ve formě energie, které je nesena vzniklými heliovými jádry a neutrony. Když rychle se pohybující neutrony narazí na "stínítko" lemující komoru, uvolňující část této energie ve formě tepla, které potom může být běžnými metodami přeměněno na elektrickou energii.

Realizaci tohoto zdánlivě jednoduchého principu stojí v cestě ještě mnoho závažných technologických překážek. Vybudování komory schopné uchovávat materiál o teplotě 100 mil. $^\circ\text{C}$ bude nepochybně oříšek. Jiným problémem je poměrná vzácnost izotopu tritia - pro jeho řešení bude ITER experimentovat se zabudováním materiálů obsahujících lithium do absorpčního stínítka - při dopadu rychlých neutronů by se z nich mohlo uvolňovat tritium, které by se pak zpětně zapojilo do termojaderné fúze.

V každém případě bude tento reaktor reaktorem pokusným, tedy z hlediska komerční aplikace vědeckých poznatků zařízením srovnatelným s pokusnými klasickými jadernými reaktory, které řada zemí začala budovat v padesátých letech minulého století. Zvážíme-li, že mezi spuštěním pokusných reaktorů a skutečně významným rozvojem jaderné energetiky uplynulo asi dvacet let (a řada závažných problémů doprovázejících tento rozvoj nebyla uspokojivě dořešena dodnes), zdá se, že první elektrickou energii vyráběnou na komeční bázi pomocí jaderné fúze nemůžeme očekávat dříve, než ve čtvrté dekádě tohoto století. A to ještě za

předpokladu, že se naplní očekávání a předpovědi vědců, z nichž minimálně část je v této chvíli jen smělými hypotézami.

[5]

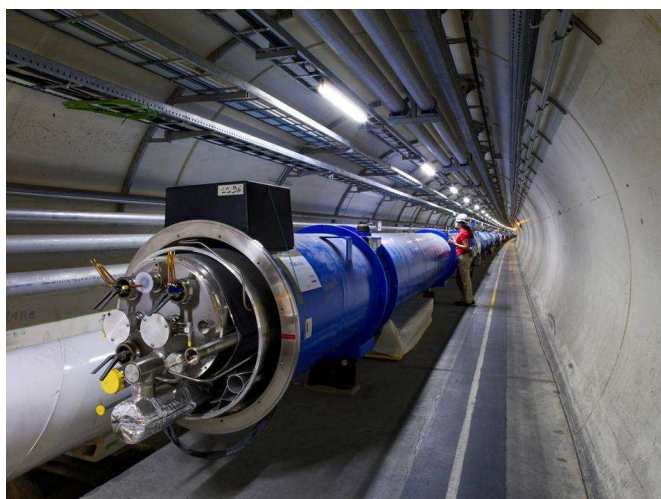
7.3 Urychlovač LHC

Urychlovač LHC byl vybudován přímo u výzkumných laboratoří CERN na okraji Ženevy ve Švýcarsku. Tento kolos se nachází 50 až 175 metrů pod povrchem země. Tvoří ho 27 km dlouhý tunel s průměrem téměř čtyři metry, který částí svého obvodu zasahuje na území Francie. Celý komplex je za pomoci desítek tun tekutého hélia ochlazený na přibližně minus 271 °C. V prstenci urychlovače je udržováno vakuum srovnatelné s vakuem ve vesmíru. Po obvodu urychlovače jsou umístěny jednotlivé testovací komory (experimenty): ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM a LHCf. Projektu se účastní kolem sedmi tisíc fyziků z celého světa a jeho cena je odhadována na osm miliard dolarů.

Úkolem částicového urychlovače je zaznamenávat a vizualizovat exploze částic, které jsou důsledkem srážek. K tomuto účelu je urychlovač vybaven několika detektory, které pomohou fyzikům zjistit identitu dané částice.

Současnost projektu Urychlovač částic byl spuštěn do provozu 10. září roku 2008. Po několika dnech postupného spouštění bylo zařízení z důvodu poruchy zařízení chladicího systému odpojeno. Samotná oprava vadného třicetitunového transformátoru je záležitostí několika dnů, nicméně servisní zásah vyžaduje zdlouhavé ohřívání supermagnetů a následné opětné ochlazení na -271 °C. Celý proces se protáhne až do plánované zimní odstávky, takže LHC bude znovu uveden do provozu až na jaře roku 2009. Nezbyvá než držet palce s očekáváním, že tento ambiciózní projekt přinese spoustu zajímavých vědeckých výsledků.

[6]



Obrázek 7.4. Supravodivý magnet urychlovače LHC

8 NÁVRH ENERGETICKÉ KONCEPCE

Navrhovanou energetickou koncepci jsem měl dle vedoucího zhotovit na některý z roku budoucnosti, kde zde mám zohlednit vývoj veškeré technologie a zakládat jí hlavně na jaderné energetice a obnovitelných zdrojů energie (OZE). Já jsem si vybral rok 2040.

8.1 Současná státní energetická koncepce

Současná státní energetická koncepce (SEK) byla schválena vládou ČR dne 10. 3. 2004. Nynější SEK se skládá ze čtyř základních bodů (mající další dílčí body), které jsou cílem SEK. Tyto základní body jsou: 1) maximalizace energetické efektivity, 2) zajištění efektivní výše a struktury spotřeby prvotních energetických zdrojů, 3) zajištění maximální šetrnosti k životnímu prostředí a 4) dokončení transformace a liberalizace energetického hospodářství.

Tato koncepce byla určena na období do roku 2030. A koncepce další zatím ještě nebyla schválena, alespoň do dnešního data.

8.1.1 Cíle současné SEK

Za cíl SEK se považuje co nejbližší se přiblížit podobě, která byla vytvořena. Energetická koncepce by měla hlavně vyhovovat nejen prostředí životnímu, aby se neničila krajina a ovzduší, ale aby i lidstvu to do budoucna přineslo jen to lepší. Ani „přílišné“ těžby uhlí, kterého máme dostatek není dobré. Jelikož zásoby dochází a musíme se začít soustředit na jiné druhy zdrojů energie.

Následující tabulka nám demonstruje, jak v roce 2005 a v roce 2030 podle SEK z roku 2003 má vypadat struktura primárních energetických zdrojů:

Tabulka 8.1. Demonstrace budoucí struktury primárních zdrojů

Druh PEZ	do r. 2005	do r. 2030
tuhá paliva	43-45%	31-33%
plynná paliva	19-20%	19-20%
kapalná paliva	16-17%	12-13%
jaderní palivo	16-17%	23-24%
obnovitelné zdroje	5-6%	12-13%

Dlouhodobé cíle

1. Splnění závazných emisních stropů EU v roce 2010 (SO₂ 265 tis. tun, NO_x 286 tis. tun, VOC 220 tis. tun).

2. Splnění mezinárodních závazků z Kjótského protokolu (po jeho ratifikaci) a z dalších dohod na něj navazujících.

3. Vytvářet podmínky pro vyšší uplatnění obnovitelných zdrojů energie – stanovením a plněním národního indikativního cíle výroby elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny (8% v roce 2010).

4. Vytvářet podmínky pro postupné zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v tuzemské spotřebě primárních energetických zdrojů ve výši 15 - 16% v roce 2030.

5. Vytvářet podmínky pro vyšší využití druhotných zdrojů energie a pro zvýšení podílu alternativních paliv v dopravě.

6. Připravit se a využít obchodu s emisemi skleníkových plynů (v návaznosti na Směrnici EU) k zajištění cílů Státní energetické koncepce).

Cíle do roku 2005

1. Plná transpozice předpisů EU do legislativy ČR v oblasti životního prostředí, týkajících se energetického hospodářství.

2. Zajistit podmínky pro naplnění národního cíle užití obnovitelných zdrojů energie – v podílu OZE na hrubé spotřebě elektřiny v roce 2005 ve výši 5 – 6% (indikativní cíl).

8.1.2 Plnění priorit a indikativních cílů SEK

Z propočtených výstupů “Zeleného scénáře – U“ vyplývá, že vize, prioritní cíle a indikativní ukazatele SEK jsou splněny, a to takto:

- a) Průměrné roční tempo poklesu energetické náročnosti tvorby HDP bude v prvním období do roku 2005 2,77 % a v celém prognostickém období 3,22 %.
- b) Průměrné roční tempo poklesu elektroenergetické náročnosti tvorby HDP bude v prvním období do roku 2005 2,42 % a v celém prognostickém období 2,35 %.
- c) Dovozní energetická náročnost v roste v roce 2005 na 41,2%, v roce 2010 na 42,3 % a v roce 2030 na 57,8 %.
- d) Národní indikativní cíl podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů bude v roce 2010 splněn a případně mírně překročen.
- e) Podíl obnovitelných zdrojů energie v tuzemské spotřebě primárních zdrojů bude v roce 2005 5,4 % a do roku 2030 vzroste na 15,7 %.
- f) Závazné emisní stropy v roce 2010 nebudou překročeny. Emise CO₂ poklesnou za 30 let ze 126 na 89 mil. tun/rok (téměř o 30%), emise NO_x z 397 na 265 tis. tun/rok (pokles o 33%) a emise SO₂ z 264 na 159 tis. tun/rok (pokles téměř o 40%).

Rekapitulace struktury spotřeby primárních zdrojů energie a výroby elektřiny podle scénáře je znázorněna v tabulce 8.2.

Tabulka 8.2. Rekapitulace struktury primárních zdrojů energie a výroby elektřiny

Podíly na spotřebě energetických zdrojů	Stav v roce 2000	2005	2030
Tuhá paliva:	52,4%	42,5%	30,5%
- HU	36,6%	29,3%	20,8%
- ČU	15,8%	13,2%	9,7%
Plynná paliva:	18,9%	21,6%	20,6%
Kapalná paliva:	18,6%	15,7%	11,9%
Jaderné palivo:	8,9%	16,5%	20,9%
Obnovitelné zdroje:	2,6%	5,4%	15,7%

Podíly na výrobě elektřiny	Stav v roce 2000	2005	2030
Tuhá paliva:	70,5%	55,5%	36,8%
- HU	58,4%	48,9%	31,9%
- ČU	12,1%	6,6%	4,9%
Plynná paliva:	6,4%	4,7%	7,2%
Kapalná paliva:	2,2%	1,1%	0,4%
Jaderné palivo:	18,4%	33,3%	38,6%
Obnovitelné zdroje:	2,3%	5,3%	16,9%

[12]

8.2 Návrh nové státní energetické koncepce (SEK)

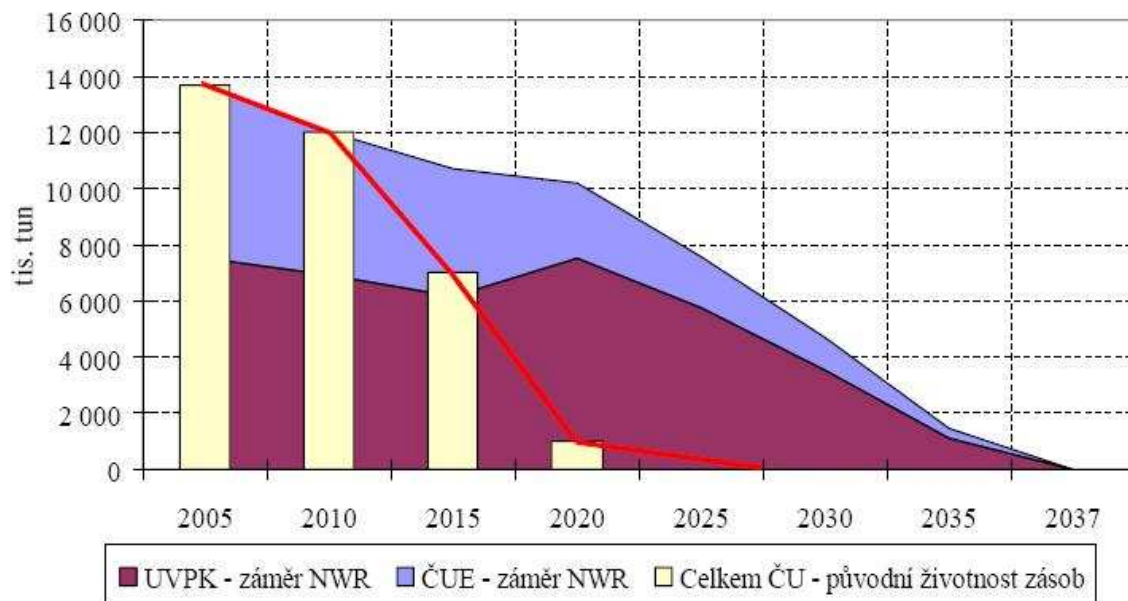
Energetickou koncepci, kterou mám sestavit na jaderné energetice s podporou obnovitelných zdrojů energie (OZE) bych zdůvodnil do budoucna jednoduše. Uhlí, které je naším nejvíce využívaným palivem pro naše zdroje energie, je na našem území dostatek, ale i toto uhlí je vyčerpatelné a do budoucna by se mohlo využít efektivněji.

8.2.1 Jak by se mohlo postupovat do roku návrhu (2040)

Jak jsem zmínil, uhlí je naším nejčastějším produktem pro výrobu energie a už ho není tolik, abychom na něm mohli stavět energetické koncepce do budoucna. I proto SEK, která byla navržena toho času ministrem průmyslu a obchodu v demisi Martinem Římanem, počítá s postupným zvyšováním podílu výroby energie z jaderné podpory. S OZE se počítá více každým obdobím a to nejen z vlastní iniciativy, ale i z evropských ustanovení, ve kterých se zavazujeme do roku 2010 mít 8% a do roku 2020 mít 13% podíl výroby elektřiny z OZE.

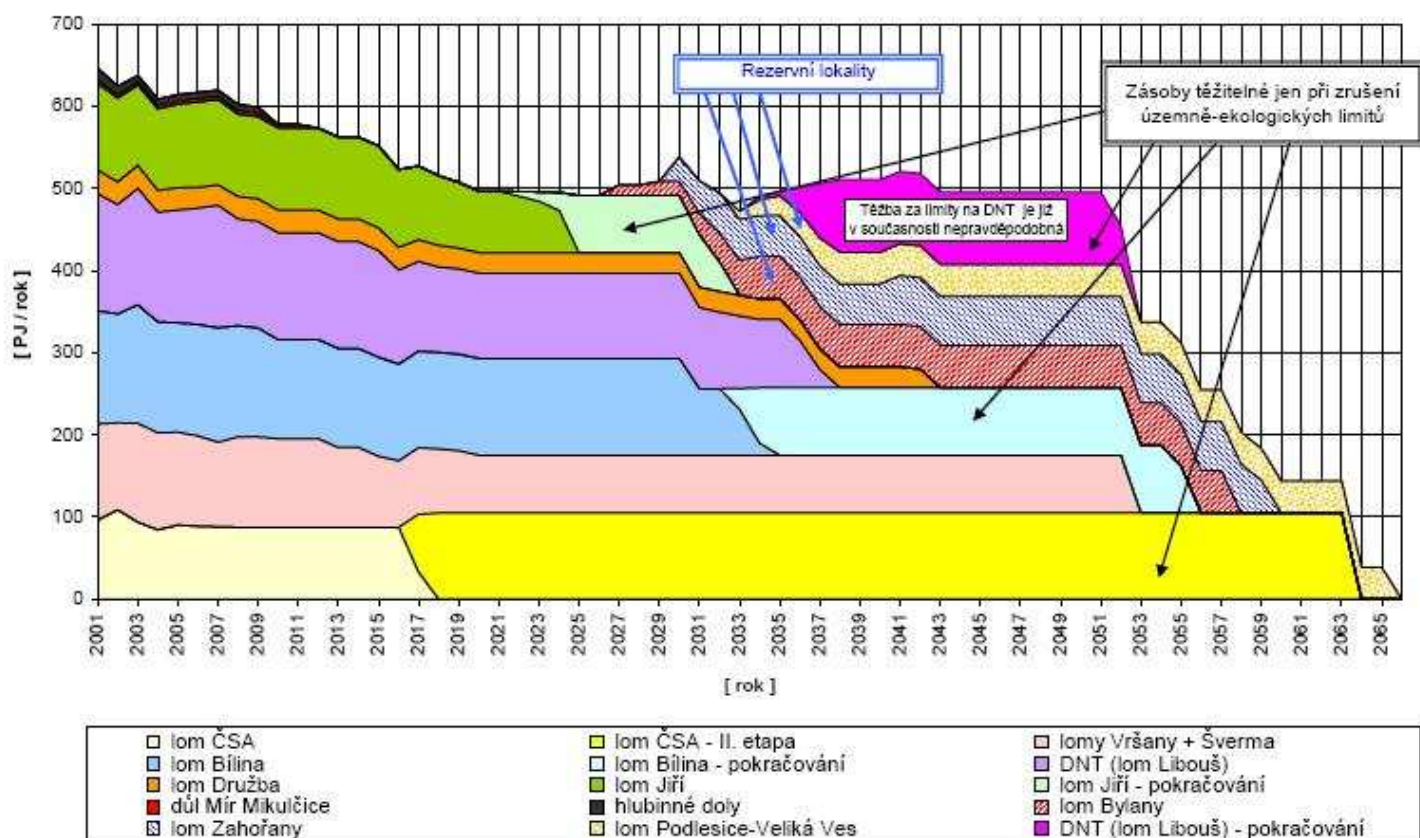
8.2.1.1 Pevná paliva pro výrobu energie

Obrázek 8.1. Životnost tuzemských zásob černého uhlí



Na obrázku 8.1 je znázorněna zásoba černého uhlí na území ČR. Záboby černého uhlí (ČH) máme na našem území „málo“ a to hlavně v tom ohledu, že nebude dostatek do dalších let. Maximální doba, kdy můžeme těžit vlastní zásoby ČH, se odhaduje na rok 2037. Už od roku 2015 se začne ČH dovážet z ciziny. Už nyní existuje obchod s Polskem. Další kdo má veliké zásoby černého uhlí je Rusko, které chce své těžební limity zvyšovat, a proto není vyloučené, že bude zapojené do obchodu s ČR. Odhadovaná cena černého uhlí by se mohla v roce 2030 pohybovat okolo 120 až 130 Kč/GJ.

Obrázek 8.2. Možný vývoj těžby hnědého uhlí

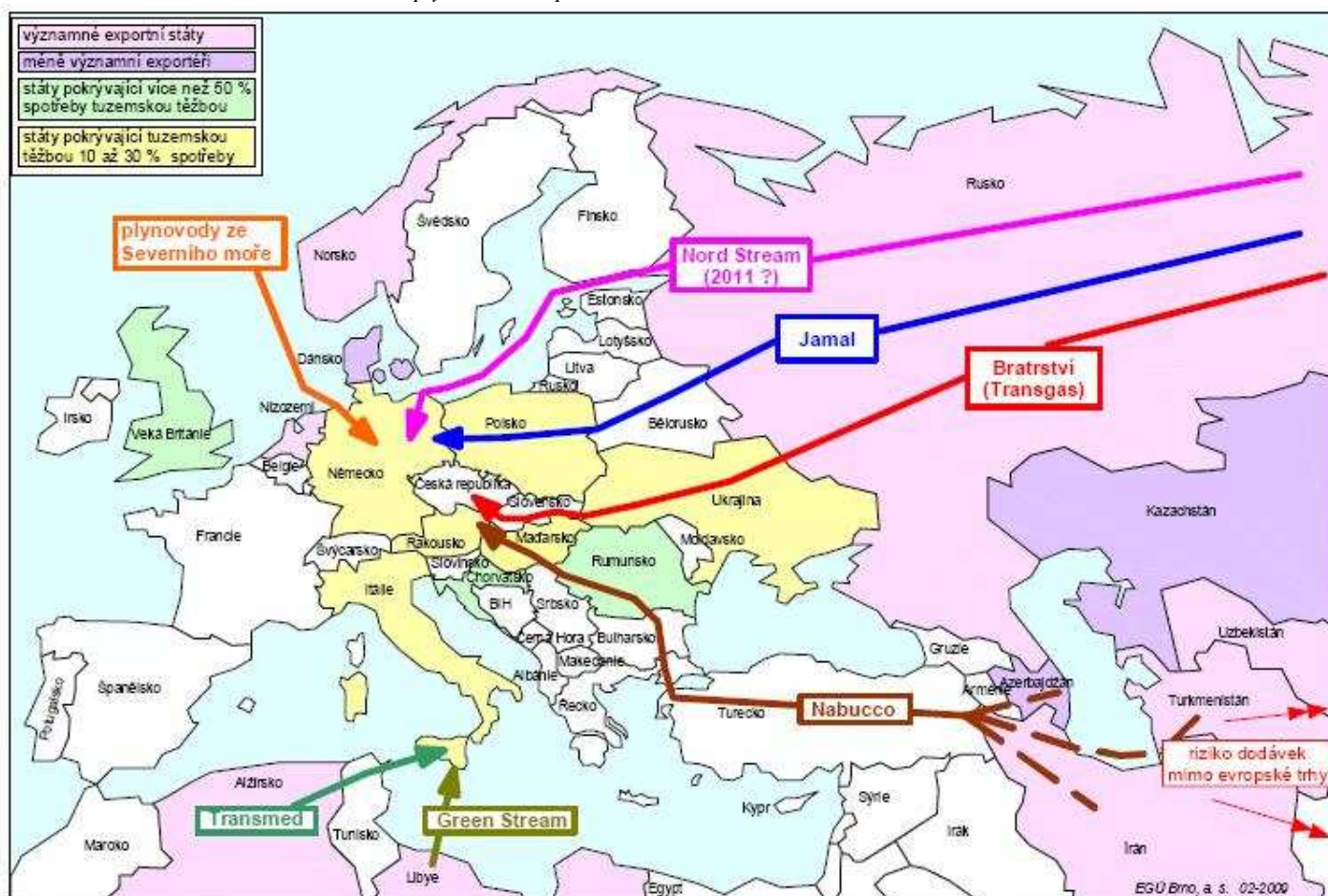


Obrázek 8.2 nám znázorňuje průběh těžby hnědého uhlí na dolech v ČR. Rovnovážná situace na trhu hnědého uhlí (HU) se mění, ke zlomu dojde po roce 2012, úbytek nabídky HU bude dlouhodobý. HU lomy začnou být postupně douhlovány od roku 2020 (ČSA), do roku 2053 (Vršany). Hnědé uhlí je vyprodáno až do konce vytěžitelných zásob, protože dlouhodobé smlouvy na HU má ČEZ, a je zajištěn HU ze 2/3, nezávislí výrobci mají smlouvy na HU většinou končící v roce 2012, za tento horizont mají smlouvy jen minimálně a nové smlouvy se neuzavírají. I u hnědého uhlí se začnou zvyšovat ceny a to v průběhu dalších let, kdy uhlí začne být nedostatkové.

8.2.1.2 Plyn jako palivo pro výrobu energie

Proto se s uhelnými zdroji musí počítat do budoucna co nejméně. Jako další palivo pro výrobu energie bych zde zmínil zemní plyn. Těžba zemního plynu ke vztahu ke spotřebě je v ČR 1%. Proto pro potřeby České republiky je dnes rozhodující (a v krátkodobém horizontu těžko zaměnitelný) plynovod z Ruska (označovaný jako Bratrství, u nás jako Transgas). Tímto plynovodem směřuje dnes 75 % obchodních (ale 100 % faktických) dodávek. Ve srovnání s ostatními plynovody má nesrovnatelně větší přepravní kapacitu. Rizikovým hlediskem tohoto plynovodu je tranzit přes Ukrajinu, který se nedávno ukázal jako problematický.

Obrázek 8.3. Zásobování zemním plynem na evropském kontinentu



Jak je patrné na obrázku 8.3, další alternativou pro dodávku zemního plynu do ČR by mohl být Jamal, ale ten nemíří na území našeho státu, ale do Německa a jeho kapacita je omezená. Dalším plynovodem, který sice není veden na naše území, je Nabucco. Zde je ale problém v tom, že není zaručena dostatečná kapacita pro naplnění. Náplň pro tento plynovod se nachází na území Íránu či Turkmenistánu a zde není zaručeno, že plyn bude určen na Evropský trh, ale na asijský, kde hlavními odběrateli by byly Čína, Pakistán, Indie a další... Jako další jsou tu plynovody z Afriky, ty jsou nejvíce vázány na tak velké spotřebitele jako Itálie. Plynovod, který je ze severu, je z Norska. Těžba, která se provádí právě v Norsku, je „vyprodaná“ na dlouhou dobu a zvýšení těžby zatím není v dohledu. Ještě zde je plánovaný plynovod z Ruska do Německa, který povede po dně Baltského moře. Tento plynovod se bude nazývat Nord Stream a zprovoznění se předpokládá v roce 2011.

8.2.1.3 Obnovitelné zdroje energie (OZE)

Větr

V současné době se větrné elektrárny nacházejí na více než padesáti lokalitách v ČR, jejich nominální výkon se pohybuje od 0,004 až po 2 MWe. V roce 2006 vyrobily větrné elektrárny na území ČR téměř 50 GWh elektrické energie, nejvíce na severozápadě ČR a na střední Moravě. Na celkové výrobě elektřiny v ČR se větrné elektrárny podílely pouze 0,4 %, což je přibližně třetina průměrného podílu v zemích EU.

Obsluha větrné elektrárny je automatická. Životnost nové větrné elektrárny se udává 20 let od uvedení do provozu.

Jako nejvhodnější lokality pro stavbu farem větrných elektráren lze považovat plochy 3×3 nebo 4×6 km v nadmořských výškách zpravidla nad 700 m (většinou však leží v chráněných krajinných oblastech, kde je zakázáno stavět). Až na řídce výjimky se energeticky příhodné lokality pro stavbu větrné elektrárny nacházejí v horských pohraničních pásmech a v oblasti Českomoravské vrchoviny. Podle předběžných odhadů by bylo možné v Krušných horách postavit 320 až 340 větrných elektráren o jednotkovém výkonu 300 až 500 kW, tj. celkem až 170 MW (výkon 1 bloku starší uhelné elektrárny).

Zajímavost: Obcím, na jejichž katastru budou postaveny větrné elektrárny, Skupina ČEZ nabízí kompenzaci ve formě pravidelného ročního příspěvku do obecního rozpočtu v řádu okolo 100 000 korun na jednu větrnou elektrárnu.

Zajímavost: Pro získání většího výkonu je však třeba stavět větrné farmy o obrovských rozlohách (např. 1000 MW větrná farma zabere rozlohu 35 000 km², uhelná nebo jaderná elektrárna o stejném výkonu pouhých několik km²).

Na základě úspěšných projektů, zejména v Dánsku, Nizozemsku, Německu a Velké Británii, rozhodla Evropská unie v roce 2030 dosáhnout 100 000 MW_e instalovaných ve větrných elektrárnách.

Slunce

V našich podmínkách je solární systém o výkonu 1 kW schopen vyrobit 900-1000 kWh elektrické energie za rok. U současně provozovaných slunečních elektráren o instalovaných výkonech od 2,6 kW do 36 kW (sít' solárních systémů na středních odborných školách po 1,2 kW) jde většinou o napájení aplikací bez připojení k rozvodné síti. V souladu s cíli EU by celkový instalovaný výkon solárních systémů v ČR měl do roku 2010 dosáhnout 84 MW a do roku 2020 541 MW.

Elektrickou energii lze získat ze sluneční energie různými způsoby, přímo i nepřímo.

a) Přímá přeměna využívá fotovoltaiického jevu, při kterém se v určité látce působením světla (fotonů) uvolňují elektrony. Tento jev může nastat v některých polovodičích (např. v křemíku, germaniu, selenu, kadmia aj.). Fotovoltaiický článek je tvořen nejčastěji tenkou destičkou z monokrystalu křemíku, použít lze i polykrystalický materiál. Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. bóru), z druhé strany atomy pětímocného prvku (např. arzenu). Když na destičku dopadnou fotony, záporné elektrony se uvolňují a zbývají kladně nabitě "díry". Přiložíme-li na obě strany destičky elektrody a spojíme je drátem, začne protékat elektrický proud. Jeden cm² dává proud okolo 12 mW (miliwattů). Jeden metr čtvereční slunečních článků může dát v letní poledne až 150 W stejnosměrného proudu. Sluneční články se zapojují buď za sebou, abychom dosáhli potřebného napětí (na jednom článku je 0,5 V), nebo vedle sebe tak, abychom získali větší proud. Spojením mnoha článků vedle sebe a za sebou vzniká sluneční panel.

b) Nepřímá přeměna je založena na získání tepla pomocí slunečních sběračů. V ohnisku sběračů umístíme termočlánky, které mění teplo v elektřinu. Termoelektrická přeměna spočívá na tzv. Seebeckově jevu (v obvodu ze dvou různých drátů vzniká elektrický proud, pokud jejich spoje mají různou teplotu). Jednoduché zařízení ze dvou různých drátů spojených na koncích se nazývá termoelektrický článek. Jeho účinnost závisí na vlastnostech obou kovů, z nichž jsou dráty vyrobeny, a na rozdílu teplot mezi teplým a studeným spojem. Větší množství termoelektrických článků vhodně spojených se nazývá termoelektrický generátor.

Palivové články

Elektrinu lze získávat ze slunečního záření také prostřednictvím energie chemické tak, že pomocí slunečního záření rozložíme vodu na vodík a kyslík. Tím se původní energie záření uskladní jako energie chemická do obou plynů. Při slučování obou plynů, tj. při okysličování vodíku, vzniká opět voda. Nahromaděná energie se přitom uvolní buď jako teplo (při hoření), nebo v palivovém článku jako elektrický proud. Palivový článek je měnič, ve kterém se energie chemická mění v energii elektrickou.

Palivové články budou pravděpodobně - podobně jako jaderné palivo - důležitým zdrojem elektrické energie v budoucnosti. Představují uskladněnou sluneční energii a lze je získávat v neomezeném množství. Účinnost palivových článků je vysoká (až 90 %), generátory elektráren na fosilní paliva dosahují pouze 35% účinnosti.

Provoz palivových článků je absolutně čistý, neboť jejich produktem je voda. Články pracují zcela bezhlučně, jelikož neobsahují žádné pohyblivé části. Pomocí palivových článků lze získávat elektrinu pro domácnost (s výkonem 12 kW). Vyrábějí se však už baterie mnoha palivových článků s výkonem až 13 000 kW (užívají se zejména v astronautice).

Sluneční elektrárny a budoucnost

Na Zemi je asi 22 milionů km^2 pouští, které nelze využít ani v zemědělství, ani k chovu dobytka (Sahara, Kalahari, Atakama). Jejich obrovské rozlohy však mohou být alespoň zčásti využity k přeměně sluneční energie na elektrinu nebo k rozkladu vody na vodík a kyslík. Pro Evropu je nejbližší Sahara, která má rozlohu 7 milionů km^2 . Jednoduchý výpočet ukáže, že jen z jedné desetiny Sahary by dnešní technikou slunečních elektráren bylo možné získat asi 50 terawattů, což je 5krát více, než lidstvo potřebuje.

Elektrická energie ze solárních článků ze Sahary by se do Evropy mohla rozvádět přes Gibraltar. Jinou možností je využívat sluneční energii k rozkladu vody a vodík pak do Evropy dopravovat potrubím nebo ve velkých tankerech podobně jako zemní plyn.

Biomasa

Biomasa je definována jako hmota organického původu. V souvislosti s energetikou jde nejčastěji o dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky včetně exkrementů užitkových zvířat.

Rozlišujeme biomasu "suchou" (např. dřevo) a "mokrou" (např. tzv. kejda - tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou). Základní technologie zpracování se dělí na suché procesy (termochemická přeměna) jako je spalování, zplyňování a pyrolýza a procesy mokré (biochemická přeměna), které zahrnují anaerobní vyhnívání (metanové kvašení), lihové kvašení a výrobu biovodíku. Zvláštní podskupinu potom tvoří lisování olejů a jejich následná úprava, což je v podstatě mechanicko-chemická přeměna (např. výroba bionafty a přírodních maziv).

Biomasa je velmi složité palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký (u dřeva je 70 %, u slámy 80 %). Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva. Podmínkou dokonalého spalování je vysoká teplota, účinné směšování se vzduchem a dostatek prostoru pro to, aby všechny plyny dobře shořely a nestávalo se, že budou hořet až v komíně.

Výhřevnost biomasy

Výhřevnost dřeva a dalších rostlinných paliv kolísá nejen podle druhu dřeva či rostliny, ale navíc i s vlhkostí, na kterou jsou tato paliva citlivější. Dřevní hmota při přirozeném provětrávání pod střechou sníží svůj obsah vody na 20 % za jeden rok, řepková sláma za stejných podmínek na 13 %. Obsah energie v 1 kg dřeva s nulovým obsahem vody je asi 5,2 kWh. V praxi však nelze dřevo vysušit úplně, zbytkový obsah vody je asi 20 % hmotnosti suchého dřeva. Protože se při

spalovacím procesu část energie spotřebuje na vypaření této vody, je nutné počítat s energetickým obsahem 4,3 až 4,5 kWh na 1 kg dřeva.

Voda

Zatímco energie vodního kola byla využívána pro velmi pestrou paletu nejrůznějších lidských činností, moderní vodní turbíny nacházejí své uplatnění takřka výhradně při výrobě elektřiny. Hydroenergetika je perspektivní především v oblastech prudkých toků s velkými spády. V ČR nejsou přírodní poměry pro budování vodních energetických děl ideální. Naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Proto je podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR poměrně nízký. V posledních letech k jeho dalšímu snížení přispělo i poškození vodních elektráren vltavské kaskády povodněmi v roce 2002.

Významným posláním vodních elektráren v ČR je pracovat jako doplňkové zdroje primárních zdrojů (klasické elektrárny, JE Dukovany, JE Temelín). Využívá se přitom jejich schopnost rychlého najetí při velkém výkonu a tedy operativního vyrovnání okamžité energetické bilance v elektrizační soustavě ČR.

[13]

zajímavost: Zelený image vodní energetiky jako vhodné náhrady za fosilní paliva je falešný, říká na stránkách New Scientistu Eric Duchemin, konzultant Mezivládního panelu pro klimatické změny (IPCC). Kvůli přehradám se totiž do atmosféry uvolňuje oxid uhličitý a metan - v některých případech dokonce ve větším množství než z elektráren na fosilní paliva. Objem emisí se liší přehradou od přehrady, říká Philips Fearnside z brazilského národního institutu pro výzkum v Manausu. „Jisté ale je, že nejde o zanedbatelné množství.“

Fearnside odhaduje, že v roce 1990 byly emise skleníkových plynů z vodní elektrárny na přehradě Curuá-Una v brazilském státě Pará přibližně třiapůlkrát vyšší, než kdyby se stejné množství energie vyrobilo z ropy.

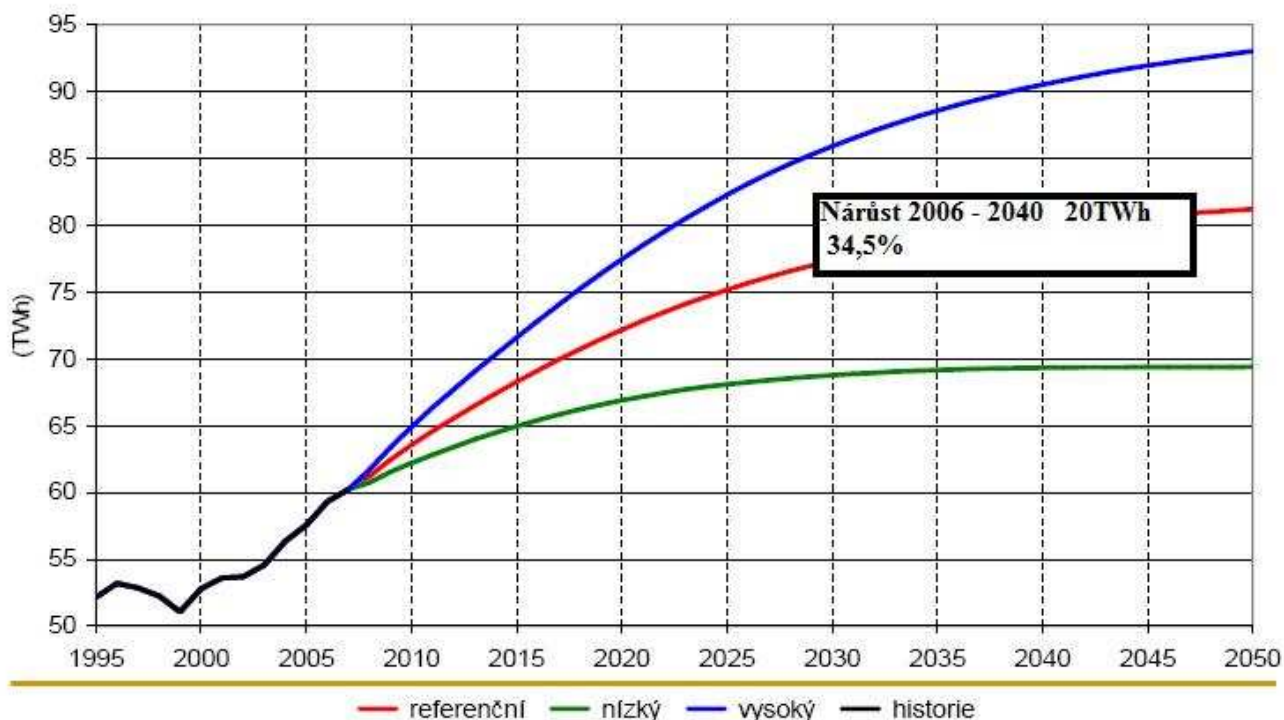
Důvodem je velký objem uhlíku ze stromů a rostlin, který se uvolňuje při počátečním zaplavení přehrady a následném hnití rostlin. Rozklad zbytků rostlin usazených na dně přehrady vede ke vzniku metanu - ten se pak při průchodu vody turbínou uvolňuje do ovzduší, píše New Scientist.

[14]

8.2.2 Možný návrh energetické koncepce státu

Koncepce je velice složitým materiálem, který musí schválit vláda. Tento dokument by měl být důkladně propracovaný a podílí se na jeho tvorbě nejeden odborník. Já budu sestavovat pouze na základě energie. Jako základním „kamenem“ bych použil jadernou energetiku, která by nám mohla do budoucna řešit 50% výrobu elektrické energi. Dosáhnout by se to dalo pomocí dostavby Temelína, kde by se elektrický výkon zvýšil o 2000MW elektrických. To by bylo pro toto období, kde nám zatím jaderný zdroj energie vyrábí 33,3%. Když budeme uvažovat nárůst spotřeby o 34,5%, jak nám znázorňuje obrázek 8.4, tak i výroba bude muset být zvýšena. V obrázku máme 3 křivky a já bych se zaměřil na referenční.

Obrázek 8.4. Dlouhodobé scénáře spotřeby elektřiny v ČR



S třicetiletým výhledem musíme počítat i s tím, že nám současné zdroje začnou dosluhovat. Jako řešení bych viděl rekonstrukce uhelných elektráren a postupně je zaměřovat na spalování biomasy. Tím bychom i postupem času zvyšovali výrobu z obnovitelných zdrojů a splňovali normy, které nám udává Evropská unie. Když bych se tedy vrátil k tomu, jak dosáhnout, aby 50% vyrobené energie vyráběly právě jaderné elektrárny, tak tu řešíme, jaké budou technologie. Podle předchzích textů budou kolem roku 2040 realizovány některé druhy jaderných reaktorů. A to olovem chlazený rychlý reaktor (LFR; bude Ruskem realizován reaktor BREST a roku 2040 by mohl být komerčně využíván), reaktor s velmi vysokou teplotou (VTHR, který by jako jediný z reaktorů IV. generace mohl být k dispozici již kolem roku 2030) a sodíkem chlazený rychlý reaktor (SFR, po roce 2030 by mohl být využíván a bude ve „dvou“ základních rozdělení-malé do 600MWe a velké do 1500MWe). Ted' by jen záleželo na tom, kolik by se investovalo, a zdali by se našla vhodná lokalita. Aby to bylo pro ČR co „nejprospěšnější“, mělo by být umístění někde na severu. Tam totiž naše výroba elektrické energie není dostatečná. Dále by se také muselo počítat s další přečerpávací elektrárnou, která by byla umístěna poblíž nové jaderné elektrárny.

Jak jsem zmínil, dostavení Temelína by stačilo na 50% výrobu elektrické energie v tomto období. Když tedy budeme uvažovat navýšení spotřeby o 34,5%, pak i budeme muset „přistavět“ jadernou elektrárnu. Rekonstrukce Dukovan bude prioritou a poté se bude budovat nová. Jak jsem napsal, nejlepší řešení pro stavbu nové jaderné elektrárny by byl sever. Mohlo by se jednat například jednat o reaktor VTHR, kteý by se instaloval po 1000MWe a celý objekt by obsahoval dva tyto reaktory. Samozřejmostí by byla nějaká (i přírodní) nádrž na přečerpávací elektrárnu pro „noční“ elektřinu, kdy není špička ve spotřebě elektrické energie.

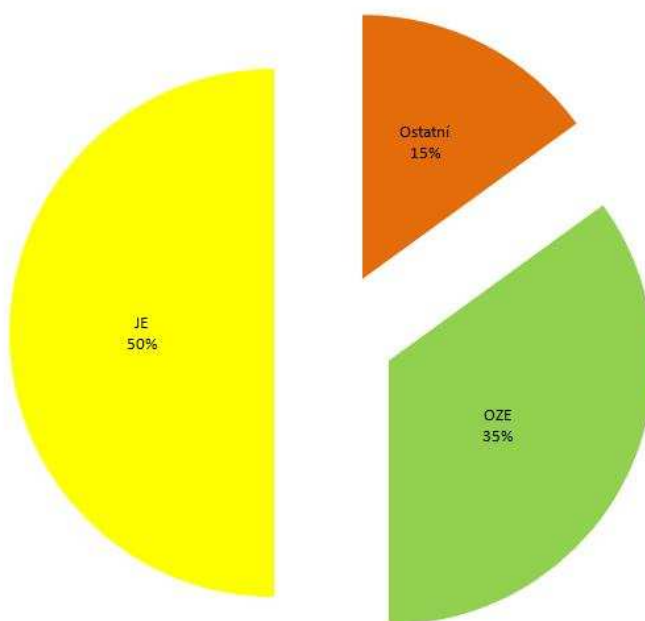
Dalším co se musí brát v na zřetel je OZE, ty by nám mohly v roce 2040 pokrývat zhruba 35% výroby elektrické energie. Už nyní se zde budu jí solární parky (elektrárny), které se většinou staví v nevyužitých průmyslových územích. K dnešnímu datu jsou na našem instalovány solární elektrárny o výkonu zhruba 70 MW. A to určitě není konečné, postupem času se bude instalovaný výkon slunečných elektráren zvyšovat.

Když by se také postupně některé uhelné elektrárny orientovaly na biomasu, poté se i radikálně posune procentuální využití OZE. Je to sice velká investice, ale pro ochranu životního prostředí by to mohlo být nezbytné. A u s těžbou uhlí to nebude vždy tak jako nyní, protože zásoby nejsou nekonečné. Snižováním spotřeby uhlí by se snižovaly i emisní limity a tím se dále zúčastňovali zlepšování životního prostředí.

Jako další jsou vodní a větrné elektrárny. Větrné bych ani nedával jako nějakým podpůrným zdrojem, ale vodní by mohli nějakou tu roli hrát. Jedná se o naše přehrady a nádrže. Ale i malé vodní elektrárny se podílí na tom, aby energie byla „zelená“. S budováním nových vodních zdrojů energie se asi moc počítat nedá, jelikož naše země je spíše prameništěm mnoha toků.

Aby nebyly žádné zdroje energie na uhlí, se zařídit moc nedá, alespoň v průběhu tak čtyřiceti let. Je to zatím u nás „fenomén“. Proto jsem i počítal s ostatními zdroji v obrázku 8.5. Jedná se o 15% podíl výroby elektrické energie jinými zdroji, jak jsou jaderné elektrárny a obnovitelné zdroje energie. Patří mezi ně například současně tepelné elektrárny, elektrárny, které mají palivo zemní plyn,...

Obrázek 8.5. Možná struktura výroby elektrické energie v roce 2040.



Tyto elektrárny také budou muset projít rekonstrukcí a to z toho důvodu, že mají určitou životnost. Tímto způsobem si se i pomalu řeší způsob méně zvažovat uhlí jako zdroj pro výrobu energie. Uhlí se dá spotřebovávat i na výrobu benzínu. To by však bylo v tom případě, kdyby auta nedostali jiný druh paliva, na kterých se v těchto letech více a více pracuje.

8.2.2.1 Další energie zvažovaná v SEK

Jako další neméně důležitou energii, která je vyráběna je teplo. Jedná se většinou o teplárny, nebo pak dokonce o kombinovanou výrobu, kde se vyrábí jak teplo, tak i elektrická energie. Teplo má tu nevýhodu, že se nedá distribuovat daleko. Jedná se o kilometry. Například

v Hodoníně, kde je tato kombinovaná výroba energie a to dokonce z biomasy s přídavkem hnědého uhlí, je teplo dodáváno do 6 km vzdálených domácností.

Tepelná energie je i produktem jaderné elektrárny. Je-li elektrárna na to stavěná, může být i zdrojem tepla, kterého z elektrárny není zrovna málo.

8.2.2.2 Ekologie v navrhované SEK

Na toto téma je velmi složité hovořit. Stanovy, které by se v budoucnu mohly být v platnosti, se těžko předurčují. Jediné co k této problematice napsat je, že se snižováním veškerých skleníkových plynů se počítat vždy bude. Tím nám nové technologie určitě pomáhat budou. A i jaderné elektrárny, které nyní máme k dispozici, tomu pomáhají. OZE, jak se počítá, se bude rozmáhat čím dál více a to nejen do odvětví energetiky, ale i do odvětví automobilového a jiných.

8.2.2.3 Bezpečnost v navrhované SEK

Tato problematika se řeší denně a proto při vývoji nových technologií, a to v jakémkoli odvětví, se na bezpečnost dbá v první řadě. Veškeré jaderné elektrárny se musí popasovat s tím, jak kvynaloží se svými odpady. V budoucnu by se nová technologie měla zaměřovat na transmutaci vyhořelého paliva. Jednalo by se tak o takřka nevyčerpatelný zdroj energie, ale hlavně by se vyhořelé palivo nemuselo ukládat do hlubinných úložišť, kde by svou přítomností mohly v následujících letech udělat jen nepříjemnosti.

9 ZÁVĚR

Jaderná energetika je velmi úžasná věda, která je založena na fyzikálních a chemických procesech. Je to velmi složité zařízení, které nám dokáže v konečné fázi zprostředkovat v některých případech i dost elektrické energie, kterou využíváme nejen v domácnostech.

9.1 Současný stav

Jaderná energetika je stále na své vývojové úrovni a dá se počítat s novými technologiemi. Využívání odpadů je na tom asi hodně podobně. Nové technologie by mohly hodně vyřešit.

Naše státní energetická koncepce (SEK) je již od roku 2004 schválena vládou ČR a na nové se pracuje. K dnešnímu dni ještě není žádná další schválena.

9.2 Shrnutí nových vědeckých poznatků práce

V práci jsem se chtěl zaměřit mimo jiné na nové jaderné reaktory, které v budoucnu mohou zaručit „bezpečnou“ výrobu elektrické energie. A to jak ty, které by mohly být realizovány v příštích pár desetiletích, ale i ty které jsou ještě díky složitosti na dohledu v delším časovém horizontu, jak je 30 až 40 let.

Státní energetická koncepce je dlouholetý výzkum a práce odborníků, kteří hledají alternativy, jak zabezpečit stát energeticky a při tom brát v ohledu bezpečnost, ekonomiku a životní prostředí.

9.3 Závěry práce a její přínos

V práci jsem našel poznání jaderné elektrárny a to nejen z hlediska výrobního procesu elektrické energie, ale také z hlediska vlivu na prostředí. Dále jsem zde zjistil, v čem je podstata energetické politiky státu, že to není jen tak ležáká práce a navrhování státní koncepce v plném znění, jak má vypadat není práce jednoho pracovníka.

9.4 Význam a využití dosažených výsledků

Práce, kterou jsem sestavil, mi dala v okruhu jaderné energetiky hodně poznatků. Je to velmi zajímavé odvětví, které v sobě skrývá mnoho nepoznaného.

9.5 Návrh dalšího postupu

Dalším postupem jaderné energetiky by mohlo být hledání nových technologií, které by byly ekonomické a zároveň šetrné k životnímu prostředí. U SEK bych hledal v tom, aby se zaměřovala na bezpečnost a co nejúčinnější využití všech prostředků pro výrobu energie.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Jaderné elektrárny, Bečvář Josef, 1978
- [2] Základy teorie a stavby jaderných reaktorů, Dubšek František, 1990
- [3] <http://www.trivis.info/view.php?cisloclanku=2007061401>
- [4] <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3568>
- [5] <http://www.trivis.info/view.php?cisloclanku=2005090909>
- [6] <http://www.hvezdarna-vsetin.inext.cz/view.php?cisloclanku=2008110001>
- [7] Jaderné elektrárny, Raček Jiří, 2005
- [8] Provoz jaderných elektráren, Matoušek Antonín, 1988
- [9] <http://www.osel.cz>
- [10] <http://cs.wikipedia.org>
- [11] <http://www.ckde.cz/>
- [12] Dokument z MPO – Státní energetická koncepce z 2003
- [13] <http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.htm>
- [14] www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=226767

